

КОНСТРУКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НЕОБИТАЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Перевалов Г.С.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: bigggrin@el.ru

CONSTRUCTIVE WAY OF PROTECTION OF RADIO EQUIPMENT OF UNMANNED SPACECRAFTS FROM SPACE RADIATION EXPOSURE DAMAGING FACTORS

Perevalov G.S.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Possible choice of construction materials capable of protecting electronic equipment from radiation damage in the outer space is discussed. The materials considered include aluminium based alloy AMg-6, three-layer Al-Pb material and neodymium-iron-boron magnets.

Несмотря на достигнутые к настоящему времени значительные успехи в обеспечении стойкости материалов и оборудования КА к воздействию ФКП, исследования в этой области остаются актуальными, поскольку весьма значительную часть в работе КА занимает надежность и стойкость аппаратуры, а также необходимость регулярного пересмотра используемых и создания новых материалов и методов защиты КА от воздействия ФКП.

Одно из главных требований – требование работоспособности в условиях космоса. Факторы КП действуют постоянно. Организация пассивной защиты от действия факторов КП путем экранирования, представляет собой наиболее простую и общую для всех ЭРИ защиту, но для КА увеличение объема и массы нежелательно.

Расчет доз ЭРИ в месте их установки или для блока РЭА в целом, и соответствующая оценка стойкости осуществляется по методикам, реализующим метод «секторирования» или «лучевого анализа». Расчет уровня стойкости РЭА проводится поэлементным методом и заключается в сравнении уровня стойкости каждого типа ЭРИ с уровнем радиационного воздействия на него (поглощенных доз электронов, протонов и суммарной дозы), определенного расчетным путем. Результатом оценки является коэффициент запаса по радиационной стойкости K_z . Эффективным методом повышения надежности эксплуатации радиотехнических изделий в условиях действия излучений является их радиационная защита. Корпуса и оболочки приборов бортовой аппаратуры из алюминиевых и титановых сплавов являются достаточно эффективными экранами, позволяющими в сотни и тысячи раз ослабить потоки протонов и электронов радиацион-

Исследовался молибден технически чистый (электродуговая плавка, горячая прокатка, $\varepsilon \sim 65-70\%$) в деформированном состоянии, после отжигов и нейтронного облучения. Отжиги проводились при 1200 °С в течение 45, 150 и 300 минут. Высокотемпературное нейтронное облучение проводилось в исследовательском реакторе ИВВ-2М (г. Заречный) в интервале температур (1000 ÷ 1250) °С до флюенса нейтронов (с $E > 0,1$ МэВ) $5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$.

Проведены сравнительные исследования при помощи методик сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), рентгеноструктурного анализа (РСА) и измерения твердости. Исследование при помощи СЭМ, с применением методики дифракции обратно рассеянных электронов, позволяет подробно изучать зеренную структуру. Использование данной методики совместно с методикой просвечивающей электронной микроскопией (ПЭМ), рентгеноструктурным анализом (РСА) и измерением твердости дает более полную информацию о структурном состоянии материала и позволяет более точно оценить структурные изменения.

При проведении отжигов в деформированном молибдене протекают рекристаллизационные процессы [2]. После отжига с максимальной длительностью, в течение 300 минут, прошла не полная рекристаллизация. Облучение привело к полной рекристаллизации. По данным ПЭМ и РСА одновременно происходит снижение плотности дислокаций. При отжигах происходит уменьшение твердости с 275 HV до 180 HV, после облучения твердость составляет 190 HV.

Установлено, что под облучением происходят радиационно-индуцированные фазовые изменения. Зарегистрировано образование радиационных пор [3], объемная доля которых составляет 1,2 %. После отжигов так же обнаружены поры, объемная доля которых увеличивается с увеличением времени выдержки (при выдержке 45 минут $\sim 0,02\%$, 300 минут $\sim 0,1\%$).

Произведена оценка термического вклада в порообразование при нейтронном облучении технически чистого молибдена и влияния структурных изменений на механические свойства по результатам измерения микротвердости.

1. Моргунова Н.Н., Сплавы молибдена, Металлургия (1975)
2. S. Primig., H. Leitner, H. Clemens, A. Lorich, W. Knabl, R. Stickler, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 28, 703-708, (2010)
3. J.L. Brimhall E.P. Simonen, H.E. Kissinger, Journal of Nuclear Material, 48, 339-350 (1973)

Созданные стенды с интегральной плотностью потока тепловых нейтронов $2,5 \cdot 10^5$ нейтр./($\text{см}^2 \cdot \text{с}$), промежуточных – $4,0 \cdot 10^5$ нейтр./($\text{см}^2 \cdot \text{с}$), быстрых – $3,8 \cdot 10^5$ нейтр./($\text{см}^2 \cdot \text{с}$) были использованы для исследования радиационной стойкости кремнийорганической жидкости ФМ-1. Изучение химического состава облученных образцов проводилось методами высокоэффективной жидкостной хроматографии и инфракрасной спектроскопии. Дополнительно проводилось определение изменений физико-химических свойств жидкости – вязкости и теплоемкости. Было показано, что исследуемые образцы кремнийорганической жидкости ФМ-1 под действием нейтронного потока сохраняют химический состав и физико-химические свойства без изменений при флюенсе быстрых нейтронов до $3,1 \cdot 10^{12}$ нейтр/ см^2 .

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО МОЛИБДЕНА

Пастухов В.И.^{*}, Аверин С.А., Панченко В.Л.

ОАО «Институт реакторных материалов», г. Заречный, Россия

^{*}E-mail: vladimir.pastuhov1991@gmail.com

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT AND HIGH TEMPERATURE NEUTRON IRRADIATION ON MICROSTRUCTURE OF TECHNICALLY PURE MOLYBDENUM

Pastukhov V.I., Averin S.A., Panchenko V.L.

Institute of Nuclear Materials, Zarechnii, Russia

A comparative study of the effects of annealing and high temperature neutron irradiation on the microstructure of deformed technically pure molybdenum is presented. Annealing and irradiation leads to a decrease in dislocation density and the flow of recrystallization processes. Radiation-induced phase changes and the formation of radiation voids occur under irradiation. Detected void volume fraction after annealing is much lower. Thermal contribution to the void formation under neutron irradiation was estimated.

Жаропрочные свойства молибдена позволяют рассматривать его в качестве перспективного конструкционного материала космических ядерных энергетических установках. Механические свойства молибдена, как и у большинства металлов, определяются чистотой и микроструктурой [1]. Исследование влияния высокотемпературных отжигов и облучения на структуру поликристаллического молибдена позволит спрогнозировать изменение его свойств во время длительной эксплуатации в условиях реактора.

СОЗДАНИЕ СТЕНДОВ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ ФМ-1

Орлов С.Н.^{*}, Костин М.М., Фоменков Р.В., Цапко Ю.В., Паньгин А.В.

ФГУП «НИТИ им. А.П.Александрова», г. Сосновый Бор, Россия

*E-mail: Orlov.S.N.1989@yandex.ru

DEVELOPMENT OF NEUTRON IRRADIATION TEST BENCHES TO STUDY THE PHYSICO-CHEMICAL STABILITY OF FM-1 SILICOME FLUID

Orlov S.N.^{*}, Kostin M.M., Fomenkov R. V., Tsapko Y.V., Pangin A.V.

FSUE «NITI of A.P. Alexandrova», Sosnovy Bor, Russia

In this work the special neutron irradiation test benches were constructed on the basis of working neutron sources. The energy spectrum and flux density of neutron radiation were determined. The benches were used to study physical-chemical stability of FM-1 silicon fluid.

В ходе проведения работ по созданию стендов-прототипов перспективных ядерных энергетических установок перед специалистами ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» возникла задача исследования радиационной стойкости новых материалов, в частности кремнийорганической жидкости ФМ-1 предназначенной для использования в высоковакуумных системах проектируемых реакторных установок.

Решение поставленной задачи потребовало создания в институте специализированных стендов, позволяющих проводить нейтронное облучение исследуемых материалов. В качестве источника нейтронов для стендов было предложено использовать рабочие источники нейтронов типа 55НК252М12.29 на основе изотопа ^{252}Cf , находящиеся в НИТИ на хранении. Данное предложение позволило не только создать востребованный в отрасли инструмент исследования физико-химических свойств материалов, но и рационализировать использование дорогостоящих рабочих источников нейтронов, выгруженных из реакторных установок.

Основными этапами создания стендов нейтронного облучения являлись: подготовка и обоснование конструкционных решений; определение энергетического спектра нейтронов путем разработки трёхмерной физико-математической модели, позволяющей рассчитать треки движения испускаемых нейтронов методом Монте-Карло; верификация физико-математической модели стендов путём сопоставления результатов расчётного моделирования с результатами экспериментов по облучению активационных детекторов и модельных растворов неорганических солей.

СИНТЕЗ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННО-СТОЙКИХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Al-Sc

Медянкина И.С.^{*}, Скачков В.М., Пасечник Л.А., Яценко С.П.

Институт химии твёрдого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: lysira@mail.ru

SYNTHESIS AND TECHNOLOGICAL STUDY OF RADIATION-RESISTANT ALLOYS BASED ON Al-Sc SYSTEM

Medyankina I.S.^{*}, Skachkov V.M., Pasechnik L.A., Yatsenko S.P.

Institute of Solid State Chemistry Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russia

Addition of small amounts of scandium, zirconium, and hafnium to aluminum and its alloys substantially increases their strength characteristics. It is economically beneficial to obtain light alloys containing expensive rare metals by synthesis using a high rate exchange reactions between the fluoride and chloride molten salts.

Скандий предотвращает распухание конструкционных материалов ядерных реакторов. Легирование никеля и нержавеющей сталей скандием (0,2 мас. %) увеличивает прочностные свойства в интервале до 1000 °С. Степень влияния на радиационную стойкость зависит от ряда факторов (концентрация скандия, наличие газовых примесей и др.). Алюминий – скандиевые сплавы (Al-2Mg-0,2Sc-0,15Zr) также могут использоваться как перспективные материалы для реакторов деления, поскольку обладают быстрым спадом наведенной радиоактивности. Эти сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью, прочностью, свариваемостью, не распухают и не охрупчиваются (после интенсивного облучения нейтронами).

Скандий – наиболее эффективный модификатор литой структуры алюминия и его сплавов. Другие добавки (Zr, Mn, Ti, B) не дают такого модифицирующего эффекта. Слитки с добавкой около 0,3 % Sc имеют очень мелкую структуру (размер зерна 15–40 мкм), а температура рекристаллизации повышается на 150–250 °С.

В сообщении изложены основные принципы технологии высокотемпературных обменных процессов получения алюминий – скандиевой лигатуры из фторида и оксида скандия, а также богатых скандием концентратов. Уточнено поведение примесей и установлена зависимость металлургического выхода скандия в сплав от температуры процесса и содержания других компонентов в солевых системах. Совместно с работниками завода в промышленной печи проведены плавки с применением инъекции технологических порошков в жидкий алюминий.

Рекомендованы пути снижения натрия в лигатуре, улучшение однородности химического состава в объеме слитка, повышение чистоты и удешевления процесса синтеза.

ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ МАСШТАБНОГО ПОЛУЧЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ СКАНДИЯ ИЗ ОТХОДОВ ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Медянкина И.С. *, Пасечник Л.А., Сабирзянов Н.А., Яценко С.П.

Институт химии твёрдого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: lysira@mail.ru

EFFICIENT WAY OF LARGE-SCALE PREPARATION OF SCANDIUM COMPOUNDS FROM WASTE OF ALUMINA PRODUCTION

Medyankina I.S. *, Pasechnik L.A., Sabirzyanov N.A., Yatsenko S.P.

Institute of Solid State Chemistry Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russia

Huge amounts of red mud for decades were stockpiled near the alumina refineries. The red mud can be considered as a non-conventional raw material source of rare metals, widely used in the production of materials for microelectronics, radio, nuclear power, etc.

В настоящий момент самым богатым источником скандия являются шламы глиноземного производства. В мире с этими шламами выбрасывается в отвалы на 2 порядка больше скандия, чем добывается с урановыми рудами. По технологии, разработанной в ИХТТ и проверенной в промышленном масштабе на заводском оборудовании, можно получить богатые по скандию содовые растворы, содержащие до 50 г/м^3 , что значительно богаче производственных растворов подземного выщелачивания урана ($0,2\text{--}0,5 \text{ г/м}^3$).

Экологичным решением в технологии является газация пульпы шлама отходящими газами глиноземного цеха завода. В результате процесса карбонизации, адсорбированные на поверхности частиц шлама соединения скандия, титана и циркония, а также натрия комплектуются и переходят в содовый раствор, где накапливаются до приемлемых концентраций. Важным обстоятельством технологии является снижение выбросов в атмосферу газов (CO_2 , NO , SO_2) и превращение щелочных шламовых стоков ($\text{pH} > 10,0$) в гидрокарбонатно - содовые ($\text{pH} \leq 8,0$), менее токсичные.

Обогащенные скандийсодержащие растворы позволяют простыми осадительными методами (гидролиз, высаливание, оксалатное осаждение) с последующей прокалкой получить оксид скандия марки 2N (99,0% Sc_2O_3), пригодный для получения лигатур и сплавов. Технология предусматривает, что все продукты, включая конечный оксид скандия, по сумме удельной активности имеет величину $A_{\text{уд}}/A_{\text{табл}}$ не выше 0,39, т.е. не попадают в категорию твердых радиоактивных отходов. При организации скандиевого производства в масштабе от нескольких т/год, себестоимость оксида скандия марки 2N не превысит 300 USD/кг.

териалов в качестве режущих инструментов. Более того они обладают исключительными магнитными и оптическими свойствами и используются в качестве оптических покрытий, электронных контактах, диффузионных барьеров.[1]

На практике карбиды переходных металлов получают путем прямого науглероживания элементов. Однако данный метод имеет ряд недостатков, а именно высокие температуры синтеза, а также длительность реакции. В настоящее время представляют большой интерес автоклавные методы получения, которые призваны устранить недостатки традиционной технологии.

В автоклавном методе могут быть реализованы следующие реакции:

1. Прямое получение карбида;
2. Восстановление из соединений углеродом;
3. Синтез карбида металла с магнийтермическим восстановлением из оксидов.

В качестве углерод содержащего компонента могут выступать карбонаты щелочных металлов, органические соединения, уголь и т.д. Источником металла выступают, как правило, оксиды, либо чистый металл. Реакции проводятся в атмосфере азота или инертного газа. Температура синтеза составляет около 650 °С.

Конечный продукт содержит целевой компонент-карбид переходного металла, а также оксид магния, что является существенным недостатком. Однако данная проблема решается путем промывания полученного порошка соляной кислотой.

С помощью данного метода могут быть получены карбиды переходных металлов с достаточной чистотой. Более того в ходе анализа методом электронной микроскопии было установлено, что конечный продукт является наноразмерным.

1. Wang L., Li Q., Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 31, 288-292 (2012)

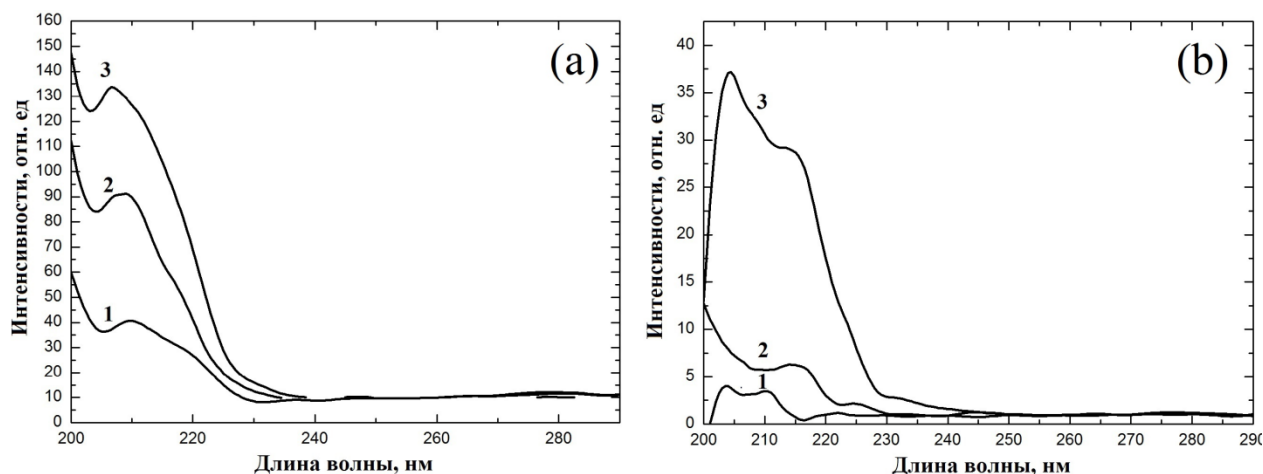


Рис. 1. Спектры возбуждения при различных температурах (а) и длительности(б) отжига.

Результаты показали, что интенсивность фотолюминесценции Al_2O_3 возрастает с увеличением температуры и продолжительности термической обработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (стипендия Президента РФ).

1. Хабас Т.А., Нанопорошки металлов в технологии керамики, Издательство Томского политехнического университета (2009)

АВТОКЛАВНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ КАРБИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Майорова Е.С., Шишкин Р.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: maiorova_yekaterina@mail.ru

AN AUTOCLAVE METHOD OF SYNTHESIS OF TRANSITION METAL CARBIDES

Mayorova E.S., Shishkin R.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this work the methods of autoclave synthesis were considered and advantages and disadvantages of these methods studied.

Карбиды переходных металлов нашли широкое применение благодаря наличию ряда уникальных свойств. В виду их высокой прочности и износостойкости они эксплуатируются в экстремальных условиях высокой температуры и давления. Твердость карбидов обеспечивает применение данного вида ма-

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕМЕНИ ОТЖИГА НА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ НАНОСТРУКТУРНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Лукманова А.М.^{*}, Звонарев С.В., Кортон В.С.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: almira.lukmanova@gmail.com

INFLUENCE OF TEMPERATURE AND TIME ANNEALING ON THE PHOTOLUMINESCENCE OF NANOSTRUCTURED ALUMINUM OXIDE

Lukmanova A.M.^{*}, Zvonarev S.V., Kortov V.S.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The research is conducted to identify the dependence of photoluminescence intensity of nanostructured Al_2O_3 on the temperature and annealing time. The experiments showed that increasing temperature and duration of heat treatment results in increasing intensity of photoluminescence.

Изучение спектров фотолюминесценции Al_2O_3 важно для оценки структурного состояния материала, в том числе определения дефектности и природы центров свечения. С практической стороны, создание наноструктурного оксида алюминия с лучшими оптическими свойствами в сравнении с монокристаллическим образцом, открывает дополнительные возможности для создания лазерной техники, высокочувствительных детекторов ионизирующих излучений, включая его использование как перспективного материала для высокоточных измерений [1].

Нанопорошок Al_2O_3 был синтезирован в ЗАО «ВНИИОС НК» алколюлитным методом. Керамики в форме таблеток были получены путем прессования на гидравлическом прессе СПЕКАС и отожжены в камерной электропечи СНВЭ-9/18 при наличии графита. Для измерения спектров фотолюминесценции использовался люминесцентный спектрометр LS 55.

Для определения факторов, влияющих на количество активных центров, таких как F, F⁺ и других, был проведен ряд экспериментов, в которых варьировались температура и время отжига образцов. Спектр фотолюминесценции образцов после отжига в течение 60 минут при различных температурах представлены на рисунке 1 (а) (1 – 1400 °C; 2 – 1500 °C; 3 – 1600 °C). Наблюдается рост интенсивности фотолюминесценции при высокотемпературном отжиге, что свидетельствует о процессе образования кислородных вакансий. На рисунке 1 (б) изображены спектры люминесценции образцов, отожженных при температуре 1500 °C в течении: 1) 30 минут; 2) 180 минут; 3) 300 минут. Как и в случае с температурой, увеличение времени отжига приводит к росту интенсивности свечения.

кислородными вакансиями, захватывающими два электрона. С помощью программы PeakFit графики были разложены на элементарные гауссовы кривые. На спектре возбуждения стоит отметить пики равные 205 (F), 210 (Ti^{4+}) и 220 (F^+) нм, которые соответствуют собственным и примесным центрам возбуждения, а на спектре излучения 410 (F) и 795 (F) нм соответственно.

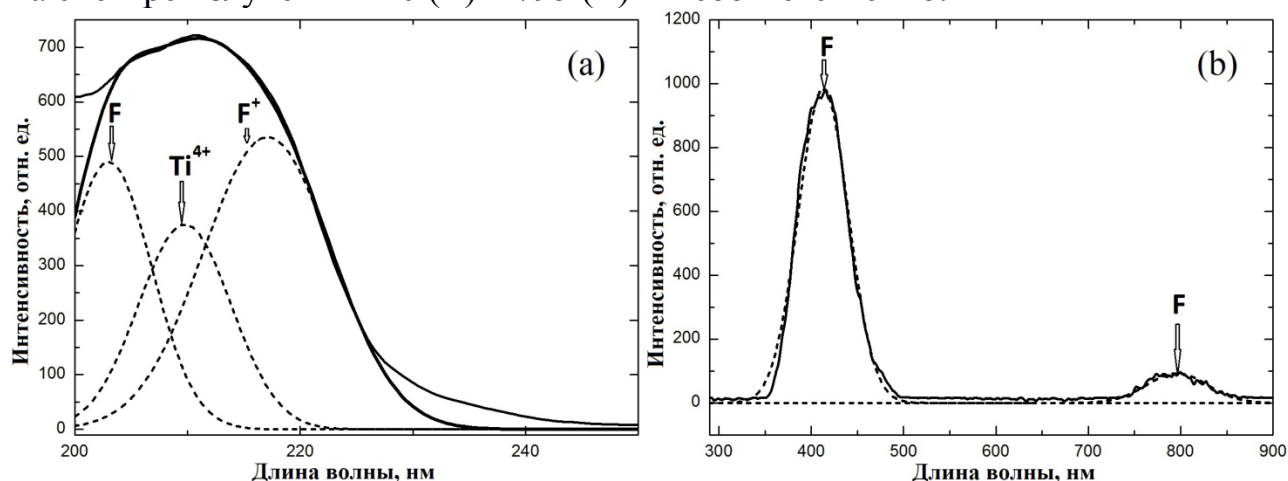


Рис. 1. Спектры возбуждения люминесценции при эмиссии 418 нм (a) и эмиссии при возбуждении 203 нм (b).

В результате исследования были найдены полосы возбуждения и излучения монокристаллического оксида алюминия, которые соответствуют теоретическим.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (стипендия Президента РФ) и УрФУ (грант молодым ученым - кандидатам наук).

1. Фадин Ю.А., Киреенко О.Ф., Крымов В.М., Никаноров С.П., Трибологические свойства монокристаллов оксида алюминия, полученных способом Степанова, Известия Российской академии наук. Серия физическая, 73, 1466 (2009).

3. H.O. Pierson, Handbook of Refractory Carbides and Nitrides, Noyes Publications (1996)
4. J. Wang, W.L. Wang, P.D. Ding, Y.X. Yang, L. Fang, J. Esteve, and M.C. Polo, Diam. Relat. Mater., 8, 1342-1344 (1999)
5. Petrov, E. Mojab, R.C. Powell, J.E. Greene, L. Hultman, and J.-E. Sundgren, Appl. Phys. Lett., 60(20), 2491-2493 (1992)

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРОВ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Лукманова А.М.^{*}, Звонарев С.В., Кортков В.С.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: almira.lukmanova@gmail.com

FEATURES OF THE PHOTOLUMINESCENCE SPECTRA OF SINGLE CRYSTAL ALUMINUM OXIDE

Lukmanova A.M.^{*}, Zvonarev S.V., Kortov V.S.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The results of the luminescence studies of aluminum oxide are presented. Excitation and emission spectra are measured. It is shown that the excitation spectrum has peaks equal to 205 (*F*), 210 (*Ti*⁴⁺) and 220 (*F*⁺) nm, which correspond to the intrinsic and impurity centers of excitation, and emission spectrum has peaks 410 (*F*) and 795 (*F*) nm. It is revealed that the excitation and emission bands of Al₂O₃ single crystal conform to the theoretically expected.

Al₂O₃ широко используется в лазерной технике в качестве оболочки для ламп накачки. Он применяется в оптических деталях, высокотемпературных подложках, деталях точной механики, колбах ламп высокого давления. Изучение люминесцентных свойств оксида алюминия может в дальнейшем позволить создать монокристаллы с улучшенными оптическими свойствами, что разрешит увеличить их спектр применимости [1].

Кристаллы Al₂O₃ получены методом Степанова. Они имели форму таблеток диаметром 5 мм и шириной 1 мм. Для получения спектров возбуждения и эмиссии использовался люминесцентный спектрометр LS 55 в режиме фосфоресценции. Диапазон длины волны – возбуждение 200–800 нм, эмиссия: 200–900 нм. В процессе сканирования использовались эмиссионные фильтры 290 и 350 нм.

В ходе исследования для монокристаллов Al₂O₃ были получены спектры возбуждения и эмиссии, которые представлены на рис. 1. Известно, что основными центрами свечения в оксиде алюминия являются F-центры, созданные

ских форм для расплавленных металлов и агрессивных химикатов [1]. AlN характеризуется высокой величиной запрещенной зоны (до 6,2 эВ), высокой электрической прочностью (10^{13} Ом/см), высокой теплопроводностью (до 320 Вт/мК для монокристалла и 180-220 Вт/мК для спеченного порошка), механической прочностью (твердость 9 по шкале Мооса) химической стойкостью, не токсичен [1-4]. Известно несколько модификаций нитрида алюминия: стабильный AlN с гексагональной кристаллической решеткой и метастабильный AlN с кубической решеткой. При этом кубический AlN за счет более высокой симметрии кристаллической решетки обладает более высокой теплопроводностью (250 – 600 Вт/м*К для спеченного порошка), твердостью и электрической прочностью (10^{16} Ом/см).

Синтез кубического нитрида алюминия является более сложным процессом, чем синтез гексагонального нитрида алюминия из-за метастабильности фазы кубического AlN.

На основе опубликованных за последние 20 лет работ составлен список основных методов получения кубического AlN.

Способы получения порошкообразного кубического нитрида алюминия:

1. Карботермическое восстановление
2. Газофазный синтез из летучего хлорида алюминия
3. Синтез из раствора при низкой температуре

Способы получения пленок и покрытий из кубического нитрида алюминия

1. Импульсное лазерное напыление
2. Метод осаждения аэрозоля
3. Твердофазная реакция
4. Плазменное напыление
5. Вакуумное магнетронное напыление при постоянном токе
6. Молекулярно-лучевая эпитаксия

На основе анализа литературы выявлено, что для конденсации метастабильной кубической фазы AlN необходимо соблюдение следующих условий:

- относительно низкие температуры синтеза (менее 1100 °С);
- резкое перенасыщение;
- осаждение на покрытие из материала со схожей кубической структурой с близкими параметрами кристаллической решетки (различие в параметрах кристаллической решетки подложки и кубического AlN не должно превышать 5%);
- использование процессов, в которых прекурсор AlN имеет схожую кубическую структуру с близкими параметрами кристаллической решетки;
- образование наноразмерных частиц.

Полученные в ходе анализа данные будут использованы для создания и оптимизации технологии получения кубического нитрида алюминия.

1. Самсонов, Г. В., Нитриды, Наукова Думка (1969)
2. A.W. Wemer, Carbide, Nitride and Boride Materials Synthesis and Processing, Chapman & Hall (1997)

the template synthesis of metallic nanostructures based on Ni by electrochemical deposition from electrolyte solutions. Pore density is $4.0E + 07$, thickness 12 microns and a range of diameters 180-300 nm. PET films were irradiated in an DC-60 accelerator by krypton ions with energy 1.75 MeV/nucleon. Template synthesis in the tracks of the membrane was carried out at a constant voltage of 1.5 V. Electrolyte solution: $\text{NiSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$ (100,14 g/L), H_3BO_3 (45 g/L), $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (1,5 g/L).

Bulk deposition rate for the same applied voltage is constant and does not depend on the diameter. There is an evidence of a direct correlation of the increase of deposition time and the porosity of the template: the higher the porosity, the longer the time it requires to fill pores, whereas volume velocity remains constant.

When the diameter of the pore of template matrix increases the thickness of the tube wall increases. Change in the thickness of the tube can affect the magnetic properties of the nanostructures. With the reduction of the wall thickness magnetic domains become more ordered. Using defined volumetric deposition rate constant we can calculate the time necessary for depositing template matrix with particular porosity, which allows to control the deposition process.

1. Martin C.R., Parthasarathy R.V. Synthetic Metals., V.55, 1165, (1993).
2. Xiang-Zi Li, Xian-Wen Wei, Yin Ye. Materials Letters 63, 578–580, (2009).
3. Sellmyer D.J., Zheng M., and Skomski R. J. Phys.: Condens. Matter 13, R433 (2001).

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СИНТЕЗА КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Кудякова В.С. *, Елагин А.А., Зыков Ф., Бекетов А.Р.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: valeriya_kudyakova@mail.ru

SELECTION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR SYNTHESIS OF CUBIC ALUMINUM NITRIDE

Kudyakova V.S., Elagin A.A., Zykov F., Beketov A.R.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The technological parameters of cubic aluminum nitride synthesis were studied. The effects of particle size, reaction temperature, reaction time on the synthesis of cubic AlN and the reaction mechanisms were analyzed. The basic methods of synthesis were classified and conditions determined. It is found that formation of metastable cubic phase is connected with supersaturation conditions.

Нитрид алюминия обладает свойствами, которые делают его применение перспективным в различных отраслях, таких как полупроводниковая промышленность, производство теплопроводящих материалов, производство керамиче-

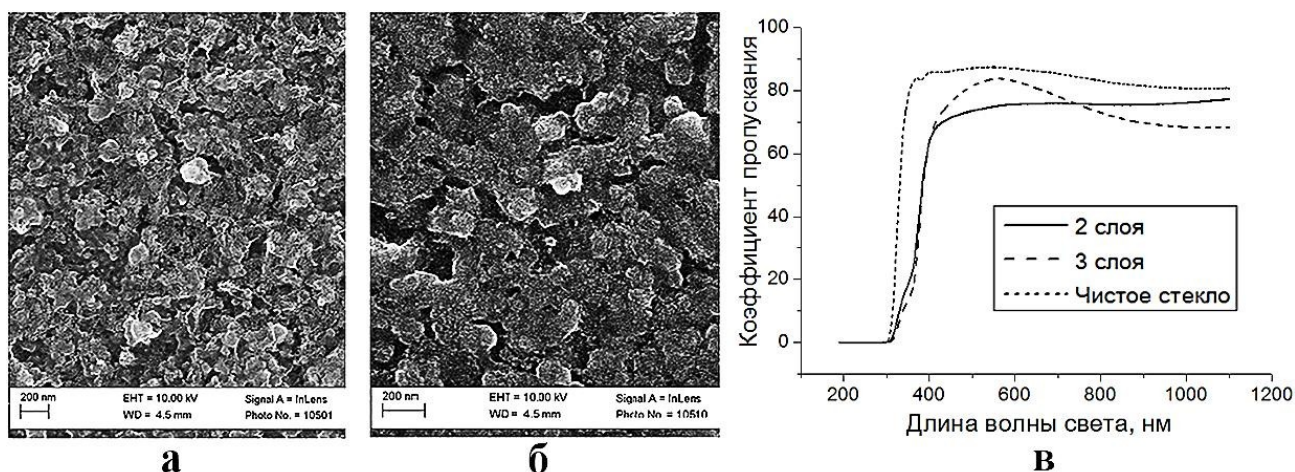


Рис. 1. СЭМ-изображение двухслойного наноструктурированного покрытия на основе ZnO, осажденного из раствора $Zn(CH_3COO)_2$: а) – нижний образец, б) – верхний образец; в) – спектры оптического пропускания исследуемых образцов.

Измерение удельного сопротивления показало, что наилучшей проводимостью обладают образцы, служившие основой для прилипания (~ 0.2 ГОм/см²).

Обсуждаются вопросы, связанные с изучением наблюдаемых интерференционных явлений, особенностей электронной структуры покрытий, а так же вопросы, связанные с определением оптимальных условий синтеза.

1. Ваганова Ю.В., Миролюбов В.Р., Николаенко И.В., Неорганическая химия, **59**, №2, 251 (2014).

STUDY OF THE DEPENDENCE OF VELOCITY VOLUME DEPOSITION ON NI-NANOTUBES CHANGE ON THE POROSITY OF THE TEMPLATE

Kozlovskiy A.*, Aleshova N., Seitmaganbet G., Shlimas D.

L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*E-mail: artem88sddt@mail.ru

Nanostructured materials are of great scientific interest due to their unique physical properties (mechanical, optical, electromagnetic) compared to the macrostructured materials of the same chemical composition. The study of these properties is one of the priorities of modern science in order to create new nanostructures and successful application for practical purposes in the future. All specific properties of such structures are caused by quantum phenomena and size effects. Quantum-size effect is related to the changes in the system's properties due to the presence of at least one dimension comparable with the wavelength of electron, characteristic to this system [1-3].

In this paper, track membranes based on polyethylene terephthalate (PET) type Hostaphan® manufactured by «Mitsubishi Polyester Film» (Germany) were used for

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ZnO

Клюкина Е.О.^{*}, Ваганова Ю.В., Ищенко А.В., Миролюбов В.Р.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: attain@list.ru

NANOSTRUCTURED ELECTROCONDUCTIVE COATINGS BASED ON ZINC OXIDE

Klukina E.O.^{*}, Vaganova Yu.V., Ishchenko A.V., Mirolubov V.R.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The thin films of the zinc oxide deposited from the aqueous solutions were studied. Their morphology, electrical and optical properties were investigated using scanning electron microscopy and optical spectroscopy.

Оксид цинка ZnO хорошо известен как недорогой, безопасный и сравнительно легко обрабатываемый материал. Благодаря своим уникальным физико-химическим, механическим и биологическим свойствам поликристаллический ZnO применяется в медицине и косметике, в процессе вулканизации резины, используется в качестве пигмента. Оксид цинка используется также при изготовлении пьезоэлектрических датчиков и преобразователей, люминофоров и катализаторов.

В рамках данной работы исследованы наноструктурированные проводящие покрытия оксида цинка, синтезированные методом химического осаждения из водных растворов [1].

В рамках данной работы исследованы наноструктурированные проводящие покрытия оксида цинка, синтезированные методом химического осаждения из водных растворов [1] $Zn-NH_3-TM$ и $Zn(CH_3COO)_2$. Из каждого раствора один образец осаждали в 2 слоя с термообработкой при 400 °C в воздушной атмосфере каждого из них, на второй образец осаждали третий слой. В процессе осаждения образцы слипались, т.е. на образец-«основу» помещался «верхний» образец.

Анализ результатов СЭМ-микроскопии показал, что на поверхности образца-«основы» (рис. 1, а) наблюдается множество округлых частиц – размеры отдельных из них на поверхности достигают 200 нм. Также видна слоистая структура покрытия, сформированная этими частицами. Поверхность «верхнего» образца имеет такую же структуру, но выглядит оплавленной (рис. 1, б)

Наблюдаемая на спектрах поглощения (рис. 1, в) трехслойных образцов полоса в районе 480–540 нм может быть обусловлена интерференционными явлениями.

ка электронов – 1 мА. При проведении измерений использовались таблеточные аланиновые дозиметры, стабилизированные стеариновой кислотой, изготовленные на кафедре физических методов и приборов контроля качества УрФУ. Измерение поглощенной дозы проводилось на ЭПР дозиметре «e-scan» фирмы «BRUKER». Для создания дозовой карты с изолиниями использовалось программное обеспечение «Surfer8».

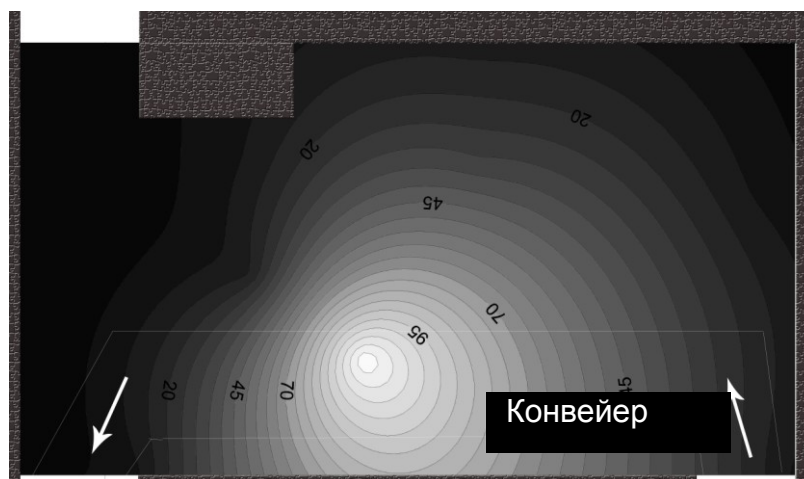


Рис. 1. Распределение поглощенной дозы в камере облучения по полу. Цифрами указана величина дозы в кГр.

Аланиновые дозиметры были размещены в рабочей комнате линейного ускорителя в плоскости пола, плоскости линии подачи груза и плоскости потолка. Облучение длилось в течении одной рабочей смены (12 часов). По завершении облучения с дозиметров на ЭПР дозиметре были получены данные о поглощенной дозе. На основании этих данных составлена карта и нанесены изолинии, соответствующие той или иной величине дозы (рис. 1). Следует отметить, что измерение поглощенной дозы непосредственно в области действия пучка затруднено ввиду высокой мощности электронного пучка – 10 кВт, и, как следствие, высокой температуры (свыше 350°C в конце рабочей смены). Измерение поглощенной дозы в этой точке проводилось на полу камеры, за поглотителем из кирпича, принимающего на себя основную тепловую нагрузку. Сравнение измеренных поглощенных доз с данными, полученными с использованием пленочных сертифицированных дозиметров электронного и гамма-излучения СОПД(Ф)Р 5/50 производства ФГУП ВНИИ ФТРИ, г. Москва, показало расхождение не выше 15%.

1. Айзацкий Н.И., Борискин В.Н. и другие. «Радиационные технологии с применением электронного и тормозного излучения». ИФВЭ ЯФ ННЦ ХФТИ, г.Харьков, 1998.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что температура синтеза люминесцирующей керамики не должна превышать 1200–1300 °С. В этом случае исходная площадь образцов изменяется не более чем на 10 %, а их плотность возрастает на 5 %.

ИЗМЕРЕНИЕ ДОЗЫ АЛАНИНОВЫМИ ЭПР ДОЗИМЕТРАМИ В ЦЕНТРЕ РАДИАЦИОННОЙ СТИРИЛИЗАЦИИ УРФУ

Кирыков А.Н. *, Зырянов С.С., Кортков В.С.

Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: Seni-i@yandex.ru

MEASURING DOSES USING ALANINE EPR DOSIMETERS IN USTU CENTRE OF RADIATION STERILIZATION

Kiryakov A.N. *, Zyryanov S.S., Kortov V.S.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The values of absorbed doses in the operating room of electron accelerator were measured. EPR detectors were placed on the floor, on the ceiling and in the working line. Dose map for operating room was compiled.

Контроль поглощенных доз излучений необходим при работе с использованием линейных ускорителей, поскольку они генерируют тормозное излучение с широким спектром энергий. Такое излучение используется в радиационных технологиях, ядерной технике и других отраслях промышленности. Регистрация высоких доз – трудоемкий процесс, включающий использование передовых технологий и дорогостоящего оборудования. В качестве методов регистрации применяется спектрофотометрия, термолюминесценция, калориметрия и ЭПР. Преимущества ЭПР дозиметрии в том, что диапазон регистрируемых доз очень велик – от 10 Гр до 200 кГр, погрешность измерения 1%, время измерения от 5 до 20 сек.

Настоящая работа посвящена получению дозовой картограммы рабочего помещения линейного ускорителя электронов УЭЛР–10–10С (изготовитель ООО «НПП «КОРАД»), расположенного в инновационно-внедренческом центре радиационной стерилизации Физико-технологического института УрФУ и предназначенного для использования в качестве источника электронов при радиационной стерилизации медицинских изделий и радиационной обработке материалов. Ускоритель имеет следующие параметры: максимальная энергия электронов – 10 МэВ; максимальная средняя мощность выведенного в атмосферу пучка электронов – 10 кВт; частота следования импульсов электронного тока 300, 200, 100, 50 Гц; максимальный средний ток выведенного в атмосферу пуч-

Работа посвящена изучению изменений площади поверхности и плотности образцов субмикронной керамики оксида алюминия в зависимости от условий высокотемпературного синтеза. Порошок Al_2O_3 с чистотой 99,9% и размером частиц 50-70 нм, полученный алкоголятным методом, прессовался в компакты при давлении 1т/см^2 , которые затем были отожжены в вакуумной электропечи СНВЭ-9/18 в присутствии графита, в температурном диапазоне от 900°C до 1600°C и при остаточном давлении 10^{-2} Па. Время отжига образцов составляло 60 мин. У полученных образцов были измерены площадь и плотность. Ранее было установлено, что отжиг в вакууме в присутствии углерода (сильно восстановительная среда) необходим для создания в керамике кислородных вакансий, которые служат электронными ловушками, образующими F – центры и активно участвующие в процессе люминесценции.

Отжиг образцов в вакууме и в присутствии углерода приводит к изменению площади поверхности (рис. 1,а). С увеличением температуры наблюдается уменьшение указанного параметра, что вызвано снижением пористости образцов при спекании керамики. При температурах 1500°C и выше для образцов, отожженных в присутствии графита, наблюдается резкое снижение площади поверхности. Из литературных источников известно, что при высокотемпературном синтезе оксида алюминия в присутствии углерода наблюдается термическое травление образцов с образованием низших оксидных соединений.

Было проведено также измерение плотности образцов. Плотность Al_2O_3 , отожженного в вакууме, возрастает во всем диапазоне температур, что характерно для процессов спекания (рис. 1б) и сопровождается уменьшением числа пор. Отжиг с графитом сопровождается ростом плотности только до температуры 1400°C . Последующее увеличение температуры приводит к значительной потере плотности образцов и к уменьшению их геометрических размеров. Изменение массы образцов, отожженных в присутствии графита, свидетельствует об интенсивно протекающих процессах термического травления.

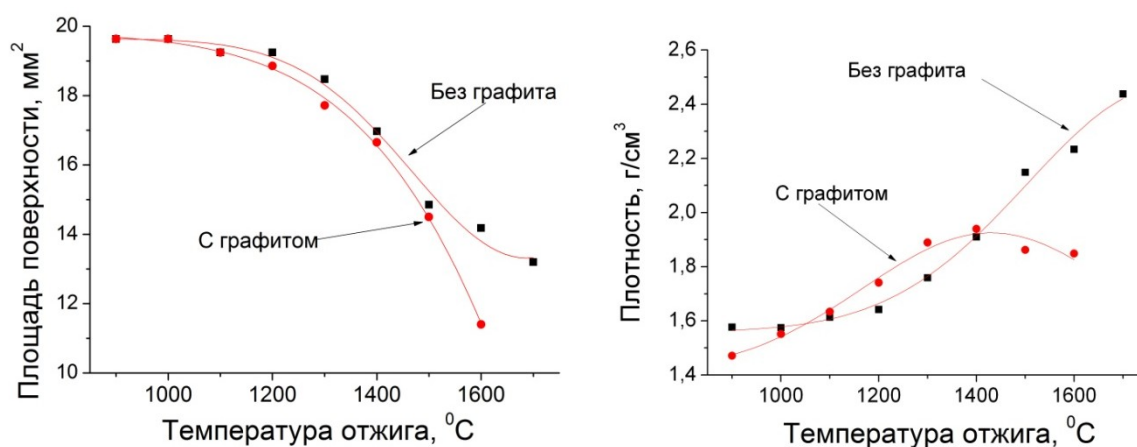


Рис. 1. Изменение площади поверхности (а) и плотности (б) субмикронной керамики Al_2O_3 в зависимости от температуры синтеза

зультате образования избыточных вторичных фаз, которые образуются вдоль границ зерен в результате воздействия высоких температур.

На основании полученных данных можно сделать вывод, о более высокой коррозионной стойкости сплавов системы «никель – хром – молибден» (Inconel 625) в отличие от сплавов системы «никель – хром – железо» (Inconel 600), а также прогнозировать их процессы коррозии.

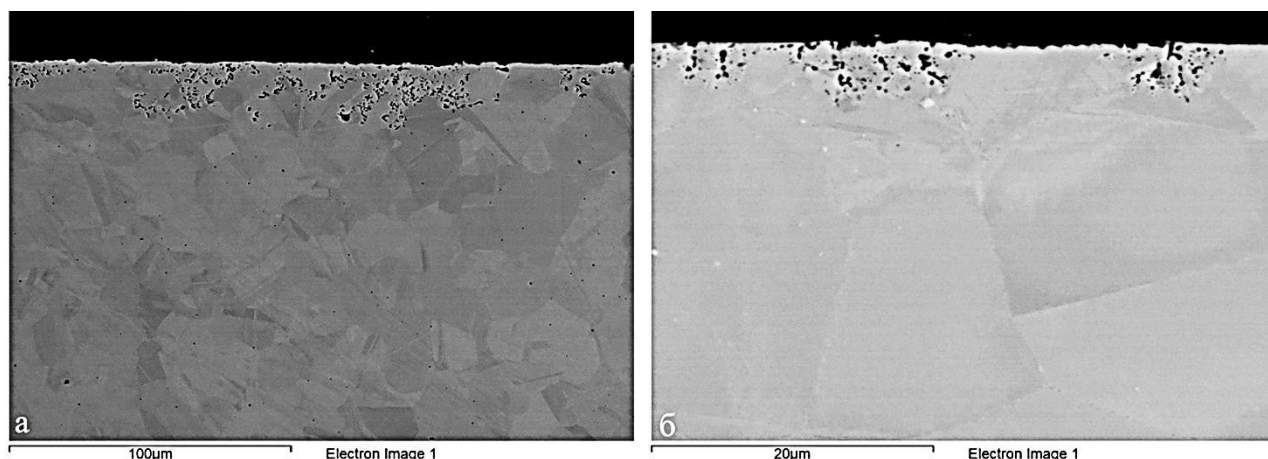


Рис. 1. Микроструктура сплавов Inconel после выдержки в течение 30 часов в расплаве KCl-AlCl_3 при 650°C . (а – 600, б – 625).

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ СУБМИКРОННОЙ КЕРАМИКИ Al_2O_3 В ПРИСУТСТВИИ ГРАФИТА.

Кирыков А.Н. *, Ананченко Д.В., Кортон В.С., Звонарев С.В.

Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: Seni-i@yandex.ru

HIGH TEMPERATURE SYNTHESIS OF Al_2O_3 SUBMICRON CERAMICS IN PRESENCE OF GRAPHITE

Kiryakov A.N. *, Ananchenko D.V., Kortov V.S., Zvonarev S.V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Submicron alumina ceramics were synthesized. The effect of carbon on the formation of anionic defects in the oxygen sublattice of Al_2O_3 submicron ceramics were investigated. Changes in the density of the ceramic samples were analyzed.

Получение люминесцирующей керамики оксида алюминия, обладающей высоким квантовым выходом и необходимой механической прочностью, является одной из важных задач термолюминесцентной дозиметрии. Люминесценция детекторов зависит от их геометрических размеров, ввиду чего принципиально важной характеристикой дозиметров является постоянство площади поверхности, массы при высокой плотности.

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ СПЛАВОВ ТИПА INCONEL В ХЛОРАЛЮМИНАТНЫХ РАСПЛАВАХ

Карпов В.В.^{*}, Гибадулина А.Ф., Абрамов А.В.,
Половов И.Б., Шак А.В., Ребрин О.И.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: karpov610@yandex.ru

THE CORROSION RESISTANCE OF INCONEL-TYPE ALLOYS IN CHLOROALUMINATE MELTS

Karpov V.V.^{*}, Gibadullina A.F., Abramov A.V., Shak A.V.,
Polovov I.B., Rebrin O.I.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The corrosion resistance of Inconel 600 and Inconel 625 alloys was investigated in a wide temperature range (450 – 650 °C) in fused KCl – AlCl₃ mixtures. The rates and the mechanisms of corrosion of the studied materials were determined. The processes taking place during the interaction between alloys and chloroaluminate melts were investigated. Formation of different secondary phases was detected and their influence on the corrosion processes mechanism is analyzed.

Низкие температуры плавления и хорошо изученные физико-химические свойства бинарных смесей KCl-AlCl₃ делают их перспективными средами в качестве теплоносителя для второго контура жидкосолевого ядерного реактора на быстрых нейтронах. Однако внедрение ядерно-энергетических установок с использованием расплавленных хлоралюминатных солей сдерживается рядом проблем, одной из которых является необходимость подбора конструкционных материалов, сохраняющих стойкость в крайне агрессивных условиях.

В настоящей работе изучено поведение сплавов Inconel 600 и Inconel 625 на основе никеля с твердорастворным упрочнением в хлоралюминатном расплаве KCl-AlCl₃ при 450, 550 и 650 °C в течение 30 часов. Начальное мольное отношение AlCl₃ к KCl равно 1.2.

В ходе работы измерены скорости коррозии сплавов, которые до 550 °C имеют крайне малые значения (≤ 0.06 г/(м²·ч)). Показано, что при данных температурах сплавы подвержены сплошной равномерной коррозии, которая определяется, главным образом, ОВ процессами, в результате которых ионы солевой среды окисляют наиболее электроотрицательные компоненты сплава, такие как хром и железо. Увеличение температуры до 650 °C приводит к интенсификации скорости коррозии до 0.59 г/(м²·ч). При этом поверхность сплавов после их контакта с хлоралюминатными расплавами KCl-AlCl₃ в течение 30 часов подвержена локальной неравномерной коррозии (рис. 1). Металлографический анализ данных сплавов показал, что характер наблюдаемой коррозии изменился в ре-

$$\ln AMD = \frac{\sum n_i \ln d_i}{\sum n_i}$$

$$\ln(GSD) = \left[\frac{\sum n_i (\ln d_i - \ln AMD)^2}{\sum n_i} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

The greatest activity fraction was adsorbed on aerosol particles in the accumulation size range¹ (100-1000 nm) with activity median aerodynamic diameter (AMAD) and geometric standard deviations (GSD) values of 250-500 nm, and 1.5-3.5, respectively. The influence of the weather conditions on the activity of the accumulation particles was not significant. In contrast to the results of measurements a small but significant fraction of the radon progeny (average value: 5%) was attached to coarse particles (>1000 nm). This fraction varied between 0 and 10%. On the other hand, although the amount of unattached activities not more 10 percent of the total activity, but is considered to yield about 50 percent of the total radiation dose. The mean thermodynamic equivalent diameters (AMTD) of ²¹⁸Po and ²¹⁴Pb were determined to be 1.28 and 1.30 nm with relative mean geometric standard deviations (GSD) of 1.30 and 1.24, respectively. Based on the obtained results of radon progeny size distributions (attached and unattached), the total deposition fractions of the human lung were evaluated by using a lung deposition model.

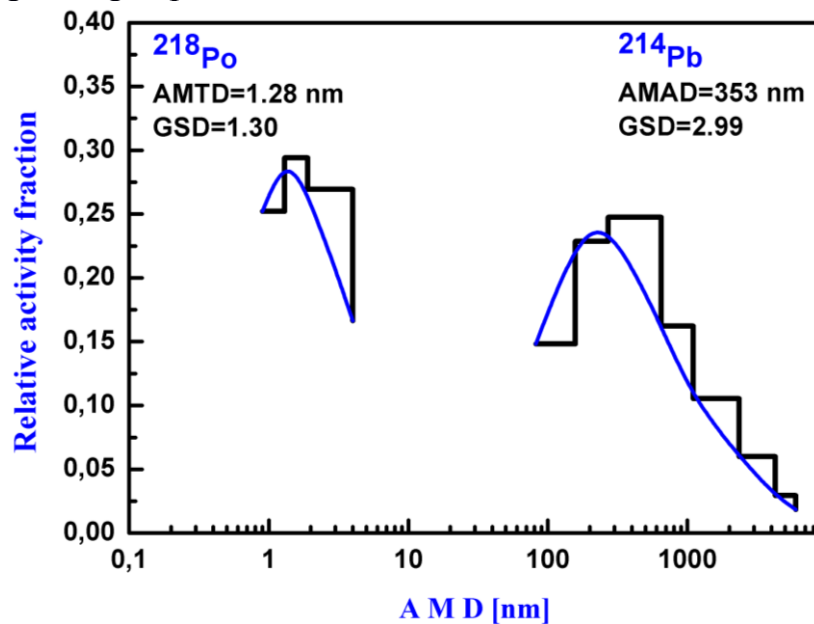


Fig. 1. Average activity size distribution of attached (²¹⁴Pb) and unattached (²¹⁸Po) radon progeny measured in indoor air with low pressure Berner cascade impactor.

1. Mostafa Y., Mohamed A., AbdEl-hady M., Moustafa M., and Hyam N., Applied Radiation and Isotopes., 97, 34 (2015).

Исследование систем, содержащих соли щелочных металлов, представляет широкий интерес, так как эвтектические смеси этих солей используют в качестве электролитов в среднетемпературных тепловых химических источниках тока (ХИТ), а также как теплоаккумулирующий материал (ТАМ) в тепловых аккумуляторах.

Экспериментальные исследования проведены методом дифференциального термического анализа (ДТА). Исходные реактивы квалификации “х.ч.” (LiVO_3 , Li_2MoO_4 , KBr , K_2MoO_4). Исследования проводились в стандартных платиновых микротиглях. Скорость охлаждения и нагревания образцов лежала в пределах 12...15 °С/мин. Состав компонентов – выраженные в мол. %.

Для изучения системы $\text{LiVO}_3\text{-KBr-LiKMoO}_4$ выбран и исследован политермический разрез CD (C - 60.0 % KBr + 40.0 % LiVO_3 ; D - 60.0 % KBr + 40.0 % LiKMoO_4 ; рис. 1) находящийся в поле кристаллизации бромида калия.

Пересечением ветвей вторичной и третичной кристаллизации определена проекция тройной эвтектической точки \bar{E} на плоскость разреза CD и соотношение концентраций компонентов LiVO_3 и LiKMoO_4 в тройной эвтектике. Изучением нонвариантного разреза, выходящим из вершины бромида калия и проходящий через \bar{E} определен, состав и температура плавления тройной эвтектики в рассматриваемой системе.

Разграничены поля кристаллизации фаз, соответствуют исходным компонентам – бромиду калия, метаванадату лития и соединению LiKMoO_4 .

INDOOR ACTIVITY SIZE DISTRIBUTION OF THE SHORT-LIVED RADON PROGENY

Mostafa Y.^{1, 2}, Amer M.², Hyam N.^{1, 2*}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Physics Department, Faculty of Science, El-Minia University, El-Minia, Egypt

*E-mail: hyamnazmy@yahoo.com

Activity size distribution of the short-lived radon progeny in indoor air was measured continuously over several weeks. Two different measurement techniques were used: A direct measurement with a low-pressure Berner cascade impactor (LPBCI) for attached fraction of ^{214}Pb and ^{214}Bi (≥ 100 nm) and an indirect determination based on measurement with a wire screen diffusion battery (unattached fraction 0.5-5 nm, ^{218}Po , ^{214}Pb). In parallel, the meteorological parameters like temperature, humidity were registered. Measured activity size distribution of radon progeny can be approximated by a sum of three log-normal distributions modes (nucleation, Accumulation and Corse).

ПОИСК НОНВАРИАНТНОГО СОСТАВА В СЕКУЩЕМ ТРЕУГОЛЬНИКЕ LiVO_3 - KBr - LiKMoO_4 ЧЕТЫРЕХКОМПОНЕНТНОЙ ВЗАИМНОЙ СИСТЕМЫ $\text{Li, K} \parallel \text{Br, VO}_3, \text{MoO}_4$

Фролов Е.И.^{*}, Шашков М.О.

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

*E-mail: frolov_zhenya@inbox.ru

SEARCH FOR THE INVARIANT FORMULATIONS IN THE INTERSECTING LiVO_3 - KBr - LiKMoO_4 TRIANGLE OF THE QUATERNARY MUTUAL SYSTEM $\text{Li, K} \parallel \text{Br, VO}_3, \text{MoO}_4$

Frolov E.I.^{*}, Shashkov M.O.

Samara State Technical University, Samara, Russia

The intersecting LiVO_3 - KBr - LiKMoO_4 triangle in the quaternary mutual system $\text{Li, K} \parallel \text{Br, VO}_3, \text{MoO}_4$ was studied by differential thermal analysis, and the melting temperature and composition in the invariant points were determined.

В работе исследована трехкомпонентная система, в состав, которой входят соли лития и калия.

Исследование трехкомпонентной системы LiVO_3 - KBr - LiKMoO_4 (рис. 1), вызвано необходимостью нахождения состава и температуры плавления тройного невариантного состава этой системы, которая входит в четырехкомпонентную взаимную систему $\text{Li, K} \parallel \text{Br, VO}_3, \text{MoO}_4$, как секущий треугольник.

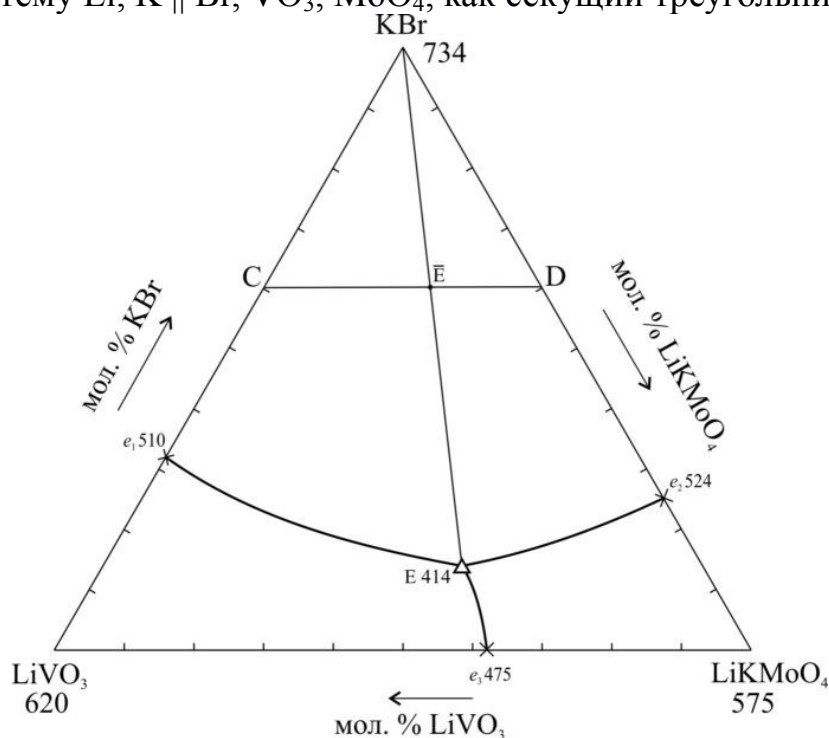


Рис. 1. Треугольник составов системы KBr - LiVO_3 - LiKMoO_4

термоэлектрических применениях [2]. Аморфному состоянию вещества в целом свойственна атомарная структура, имеющая ближний порядок, а характерный для кристаллических структур дальний порядок отсутствует [3]. Один из самых доступных материалов, аморфный кремний является некристаллической аллотропной формой кремния [4] и может существовать, например, в форме нанонитей, предлагая ряд уникальных возможностей для разнообразных применений в электронике и фофонике.

В представленной работе аморфизация кристаллических квазиодномерных соединений достигалась за счёт вариации параметров межатомных взаимодействий, входящих в valence force field модель колебаний кристаллической решётки [5]. При расчёте энергетического спектра аморфных нанонитей были учтены следующие механизмы межатомных взаимодействий: двухчастичные stretching, трёхчастичные bending, stretching-stretching, stretching-bending и четырёхчастичные bending-bending. В исследуемых квазиодномерных наноструктурах растёт число малоскоростных квантов колебательного движения атомов, что ведёт к подавлению фононного транспорта: теплопроводность в кремниевой нанонити квадратного поперечного сечения с размером, например, 8×8 монослоёв, рассчитанная при комнатной температуре, падает с примерно $4.5 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ для нанонити из кристаллического кремния до $2.8 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ для аморфной нанонити со случайным разбросом значений параметров межатомных взаимодействий.

Размерное квантование фононного спектра за счёт разупорядочения атомных связей вызывает существенную перестройку плотностей фононных состояний и эффект сильного падения теплопроводности в кремниевых аморфных нанонитях, что может быть использовано при создании термоэлектрических элементов. Управление степенью аморфизирования наносоединений позволяет устанавливать контроль над регулированием модифицирования фононных свойств рассматриваемых квазиодномерных наноструктур. Т.о. представленное в работе направление исследований выглядит перспективным с точки зрения теоретического отбора нанометровых структур с подходящими тепловыми и электрическими свойствами для дальнейшего их внедрения в нанотехнологические устройства.

Благодарность: за финансовую поддержку проведённых исследований авторы выражают благодарность научным проектам Республики Молдова 15.817.02.29F и ASM-STCU-5937.

1. Zorn R., Phys. Rev. B, 81, 054208 (2010).
2. Wada H., Kamijoh T., Jpn. J. Appl. Phys., 35, L648 (1996).
3. Inoue A., Hashimoto K., Advances in Material Research: Amorphous and Nanocrystalline Materials, Springer (2001).
4. Zallen R., The Physics of Amorphous Solids, Wiley InterScience (1998).
5. Camacho D., Niquet Y.M., Physica E, 42, 1361 (2010).

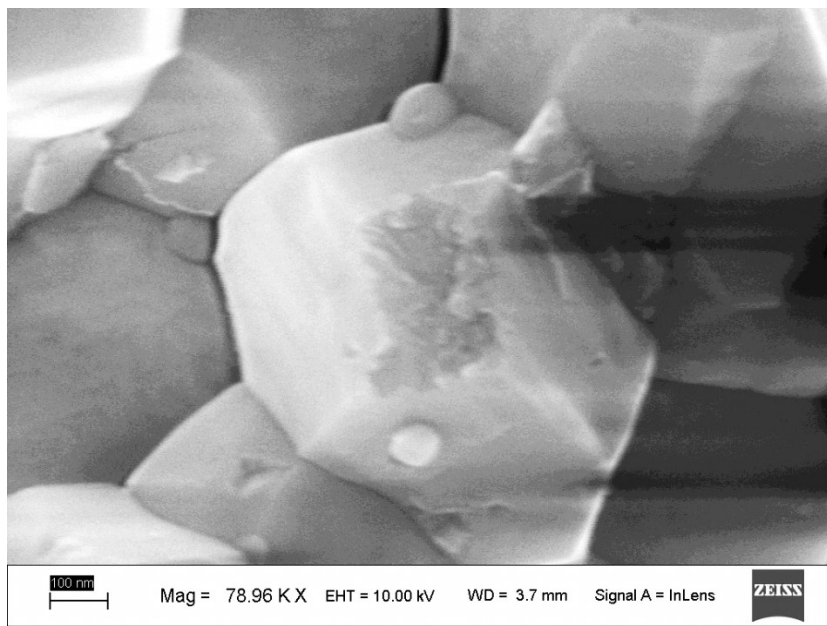


Рис. Структура излома циркониевой керамики с добавкой нанопорошка ZrO_2 (СЭМ)

В результате проведенных исследований стало ясно, что внедрение небольших добавок наномодификатора (до 5%) способно привести к увеличению прочности циркониевой керамики на 50%.

ФОНОННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ АМОРФНЫХ КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ

Крышмарь Д.В.^{*}, Ника Д.Л.

Молдавский государственный университет, г. Кишинёв, Республика Молдова

*E-mail: kryshmar@mail.ru

PHONON ENGINEERING OF THERMAL PROPERTIES OF AMORPHOUS SILICON NANOWIRES

Crismari D.V.^{*}, Nika D.L.

Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Research has been conducted to determine the quantum states of the vibrational motion of atoms in amorphous silicon nanowires. The effect of a strong drop in thermal conductivity is observed in such nanocompounds, explained by size quantization of the phonon spectrum due to a disordering of atomic bonds that form quasi-one-dimensional nanostructures. The investigated nanowires can be used as semiconductor thermoelectric cells to convert thermal energy into electrical energy.

Среди перспективных направлений исследований в современной физике важную роль играет изучение аморфных наноструктур [1]. Эффект падения решёточной теплопроводности в таких соединениях может быть использован в

О МЕХАНИЗМЕ УПРОЧНЕНИЯ ЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ

Чернецкий И.В.^{*}, Власов А.В., Симонов М.Ю., Денисова Э.И.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: y4ernetskiy@urfu.ru

ON THE MECHANISM OF STRENGTHENING OF ZIRCONIUM CERAMICS

Chernetskiy I.V.^{*}, Vlasov A.V., Simonov M. Y., Denisova E.I.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

An experimental technique for strengthening ceramic materials based on ZrO_2 by adding small amounts of nanopowders of similar chemical composition was developed. The structure of fractured ceramic samples was studied employing scanning electron microscopy.

В последнее время все чаще применяют керамику на основе диоксида циркония в качестве конструкционных материалов, в том числе, для деталей ответственного назначения. Это обусловлено целым рядом уникальных свойств, присущим циркониевой керамике (температурная и химическая стойкость, биосовместимость и трибологические характеристики). Задачей работы было изучение механизма упрочнения керамических материалов на основе диоксида циркония при помощи введения небольших добавок нанопорошка, аналогичного по химическому составу.

В качестве исходных порошков использовались материалы, полученные на кафедре РМиН ФТИ УрФУ. В роли матричного был взят микронный порошок ZrO_2 , частично стабилизированный оксидом иттрия. Модифицировали его небольшими добавками нанопорошка с таким же химическим составом. Равномерно смешав исходные компоненты, получили рабочую шихту, которую формовали методом горячего прессования. Синтез образцов проводили в вакууме при температуре 1450°C , давлении прессования 20 МПа и выдержке при этих параметрах 5 минут. После измерения прочности образцов методом трехточечного изгиба, при помощи сканирующего электронного микроскопа SIGMA Carl Zeiss изучали микроструктуру керамики.

Предполагалось, что наночастицы заполнят свободное пространство между зернами микронных размеров, а это приведет к улучшению структуры всего керамического материала. Ниже представлена структура излома наномодифицированной циркониевой керамики. Из рисунка хорошо видно, что кроме кристаллитов, образованных из микронного порошка присутствуют новообразования спеченного нанопорошка. Они имеют совершенно иную форму (каплеобразную) и характерный размер, заметно меньше 100 нм.

Особенно важно, что полученные экспериментальные данные о прочности керамики согласуются с теорией межкристаллитного упрочнения.

Карбид ванадия – один из самых используемых кубических карбидов переходных металлов, он является важным элементом структуры легированных сталей, применяется как ингибитор роста зерен в твердых сплавах. На сегодняшний день известно, что сплавы, содержащие наноразмерные зерна WC, отличаются повышенной твердостью, по сравнению со своими микрокристаллическими аналогами [1]. Кубический карбид ванадия VC_y входит в группу сильно нестехиометрических соединений [2], обладает широкой областью гомогенности и образует несколько сверхструктур.

Нанокристаллические порошки карбида ванадия были получены высокоэнергетическим размолотом в планетарной шаровой мельнице PM-200 Retsch микрокристаллического порошка $VC_{0.875}$ по составу, соответствующего верхней границе области гомогенности базисной кубической фазы со структурой $B1$. Средний размер частиц, получаемых нанопорошков, варьировался путем изменения продолжительности размолоты от 5 до 15 часов.

По данным рентгеновской дифракции, кристаллическая структура размолотых порошков сохранилась и соответствует структуре исходного, однако дифракционные рефлексы заметно уширились. Наряду с рефлексами кубического карбида ванадия после размолоты появились слабые отражения гексагонального карбида вольфрама WC, который является основой футеровки стаканов и мелющих шаров. Анализ уширения дифракционных отражений показал, что средний размер ОКР в порошке карбида ванадия, размолотого в течение 5, 10 и 15 час, равен 35, 24 и 20 нм, а величина микронапряжений составляет 0.54, 0.63 и 0.70 %, соответственно.

Ранние исследования [3], проведенные на карбиде вольфрама WC, показали, что вакуумный отжиг нанопорошков при температурах от 600°C сопровождается их заметным обезуглероживанием и изменением фазового состава вследствие десорбции углерода с поверхности порошков в результате взаимодействия углерода с примесным кислородом. В связи с этим, был проведен ряд экспериментов по вакуумному отжигу полученных нанопорошков VC_y при температурах от 600 до 1200°C. Фазовый состав нанопорошков VC_y до и после отжига исследовали методом рентгеновской дифракции. Химический анализ нанопорошков VC_y на содержание общего $C_{общ}$ и свободного $C_{своб}$ углерода проводили с помощью анализатора МЕТАВАК CS-30.

В результате были получены нанокристаллические порошки карбида ванадия VC_y (пр. гр. $Fm-3m$) с разной нестехиометрией в интервале составов от $VC_{0.65}$ до $VC_{0.875}$ и с разным средним размером частиц от 80 до 20 нм.

Исследование выполнено в ИХТТ УрО РАН за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-23-00025).

1. Курлов А.С., Гусев А.И., Физика и химия карбидов вольфрама, Физматлит (2013).
2. Гусев А.И., Нестехиометрия, беспорядок, ближний и дальний порядок в твердом теле, Физматлит (2007).
3. Курлов А.С., Гусев А.И., Неорган. материалы, 48, 781-791 (2012).

кристаллической решетки и неоднородность состава вещества по объему (неоднородность).

В существующих методиках обработки рентгеновских дифракционных спектров не учитывается неоднородность образца по размеру кристаллитов. Такие методы не способны количественно определить фракционный состав, или хотя бы качественно показать наличие фазы с резко отличающимся размером зерен. Таким образом, обработка рентгеновского дифракционного спектра смеси микро- и нанокристаллического порошков одного и того же вещества даст в результате средний размер областей когерентного рассеивания в нанодиапазоне, что приводит к заблуждению.

В данной работе исследуются рентгеновские дифракционные спектры смесей микро- и нанокристаллических порошков карбида вольфрама WC (пр. гр. $R\bar{3}m2$) взятых в разных соотношениях для поиска возможности количественного или качественного определения фракционного состава. По предварительным оценкам следует, что профиль отражений в рентгеновском дифракционном спектре несет в себе информацию о наличии неоднородности по размеру зерен.

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОПОРОШКОВ VC_y С РАЗНЫМ РАЗМЕРОМ ЧАСТИЦ И СОСТАВОМ

Белькова Т.Д.^{1*}, Бельков А.М.¹, Курлов А.С.²

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: tatyanka.vyrodova@mail.ru

PREPARATION OF VC_y NANOPOWDERS OF VARIOUS PARTICAL SIZES AND COMPOSITION

Bel'kova T.D.^{1*}, Bel'kov A.M.¹, Kurlov A.S.²

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Solid State Chemistry, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Nanocrystalline powders of nonstoichiometric disordered cubic (sp. gr. $Fm-3m$) vanadium carbide VC_y were synthesized by high-energy ball-milling and subsequent vacuum annealing. The obtained nanocrystalline powders have the particles ranging from 80 to 20 nm and different stoichiometry within its homogeneity region of $VC_{0.65}$ to $VC_{0.875}$. The nanopowders were characterized by X-ray diffraction and scanning electron microscopy.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ДИФРАКЦИОННЫХ ОТРАЖЕНИЙ ОБРАЗЦОВ С БИМОДАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПО РАЗМЕРУ ЧАСТИЦ

Бельков А.М.^{1*}, Белькова Т.Д.¹, Курлов А.С.²

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук,
г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: alex199393@mail.ru

SIMULATION OF X-RAY DIFFRACTION PROFILE REFLECTIONS OF THE SAMPLES WITH A BIMODAL PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

Bel'kov A.M.^{1*}, Bel'kova T.D.¹, Kurlov A.S.²

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Solid State Chemistry, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russia

The profile of X-ray diffraction peaks in the spectra of the powder mixtures was simulated. Various mixtures of microcrystalline and nanocrystalline powders of hexagonal (*sp. gr.* $P\bar{6}m2$) tungsten carbide *WC* were studied. According to the preliminary estimates, the profile of the Bragg reflection can determine heterogeneity of the grain size.

Существенной проблемой анализа нанокристаллических дисперсных систем является объективная оценка основных микроструктурных характеристик кристаллитов – их характерного размера (или распределения по размерам), величины остаточных микронапряжений и параметров кристаллической решетки.

Исследования методом рентгеновской дифракции, для решения части этих задач, используются повсеместно и в литературе подробно изложены методология обработки рентгеновских дифракционных спектров и используемый математический аппарат. Сформировавшиеся методы можно условно разделить на две категории – анализ интегральных характеристик профилей дифракционных отражений (чаще всего, полуширины) и анализ самих профилей отражений. Также возможны варианты исследования сразу всего дифракционного спектра (метод Ритвельда) либо отдельно каждого отражения (методы Шеррера или Вильямсона-Холла для оценки полуширины или метод Уоррена-Авербаха для анализа профиля).

Общеизвестный факт, что рентгеновский дифракционный спектр нанокристаллической дисперсной системы будет отличаться уширением дифракционных отражений, по сравнению с аналогичным для микрокристаллической системы. В литературе приведены механизмы уширения отражений и способы их учета в процессе обработки рентгеновского спектра. Рассматриваются три причины уширения: малый размер зерен (кристаллитов, частиц), микронапряжения

Целью работы было исследование магнитных свойств металлофосфатов лития LiMPO_4 и $\text{LiMM}'\text{PO}_4$ ($\text{M}, \text{M}' = \text{Mn}, \text{Mg}, \text{Co}, \text{Ni}$) с упорядоченной структурой оливина.

Данные соединения являются перспективными катодными материалами для химических источников тока, что обусловлено их высокими электрохимическими характеристиками, сочетающимися со структурной стабильностью, низкой стоимостью и безопасностью использования. Второе, но не менее важное обстоятельство состоит в том, что эти системы обладают значительным магнитоэлектрическим эффектом [1].

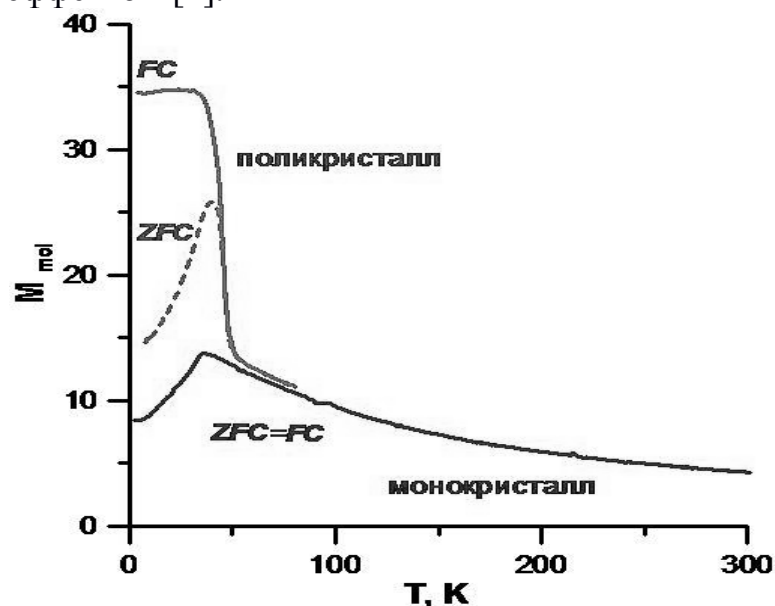


Рис.1 Температурные зависимости намагниченности для поликристаллических и монокристаллических объектов.

Нейтроннографические исследования образцов проводились на диффрактометре Д2 (г. Заречный) в температурном интервале 13-295 К (длина волны $\lambda=1.805$ Å). Намагниченность измерялась с помощью VSM-5T, Cryogenic в магнитном поле до 5Т при температурах 2-700 К. ЭПР измерения проводились при комнатной температуре на спектрометре CMS 8400 в X-диапазоне.

В настоящей работе показано, что важная роль в формировании магнитных и магнитоэлектрических характеристик металлофосфатов со структурой оливина принадлежит структурной и магнитной неоднородности.

Источником структурной неоднородности служит частичная инверсия щелочного и переходного металлов, энергетическая обусловленность которой следует из расчетов [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 13-03-00135-а).

1. J.-P. Rivera, *Ferroelectrics*, 161, 147, (1994).
2. S. Adams. *J Solid State Electrochem.*, 14, 1787, (2010).

SEM analysis of the images showed that the obtained nanostructures have a height that is equal to the thickness of the template, which is 12 nm and the diameter of 115 ± 5 nm. The existence of copper/gold in the spectrum is due to the fact that conductive layer was sprayed on the polymer matrix before the galvanic deposition. Taking atomic ratio of Co/Ni into account composition of synthesized arrays of nanostructures can be represented as following: sample 1 - $\text{Co}_{94}\text{Ni}_6$, sample 2 - $\text{Co}_{88}\text{Ni}_{12}$, sample 3 - $\text{Co}_{80}\text{Ni}_{20}$. According to the results of the study we can draw the following conclusion: when the potential difference across the electrodes decreases atomic ratio of cobalt to nickel decreases.

1. Hulteen J.C., Martin C.R. J. Mater. Chem., 7, 1075, (1997).
2. Chakarvarti S.K., Vetter J. Radiation Measurements, 29, 149-159, (1998).
3. Foss C.A., Hornyak G.L., Stockert J.A., Martin C.R. Journal of Physical Chemistry, 98, 2963, (1994).
4. Martin C.R. Advanced Materials, 3, 457, (1991).
5. Yuan G., Wei Y., Meng K. et al. Chinese Chemical Letters, 13 (11), 1115–1118, (2002).

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ЛИТИЕВЫХ МЕТАЛЛОФОСФАТОВ LiMPO_4 И $\text{LiMM}'\text{PO}_4$ (M, M' - Mn, Mg, Co, Ni)

Барыкина Ю.А.^{1,2*}, Келлерман Д.Г.¹, Заболоцкая Е.В.¹, Урусова Н.В.²,
Железников К.А.¹, Пирогов А.Н.^{2,3}

¹⁾ Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

³⁾ Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: barykina@ihim.uran.ru

SYNTHESIS AND MAGNETIC PROPERTIES OF LITHIUM METALLOPHOSPHATES LiMPO_4 AND $\text{LiMM}'\text{PO}_4$ (M, M' - Mn, Mg, Co, Ni)

Barykina Yu.A.^{1,2*}, Kellerman D.G.¹, Zabolotskaya E.V.¹, Urusova N.V.²,
Zheleznikov K.A.¹, Pirogov A.N.^{2,3}

¹⁾ Institute of Solid State Chemistry, Ural Division of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia.

²⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia.

³⁾ Institute of Metal Physics, Ural Division of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia.

The purpose of this work was investigation of the magnetic properties of lithium metallophosphates LiMPO_4 and $\text{LiMM}'\text{PO}_4$ (M, M' = Mn, Mg, Co, Ni) with an ordered olivine structure. These systems have excellent magnetic and optical properties and therefore can be used as promising materials for different applications.

Выполнены эксперименты по алюминотермическому восстановлению диоксидов титана и циркония в лабораторных печах различного типа [3], что с определенным приближением позволяет моделировать промышленные электропечные плавки (таблица – 1).

Таблица 1. Химический анализ продуктов

№	Расплав	% Zr	% Al	% Ca	% Mo	% Ti	% N	% O
1	Ме	58.59	41.62				0.007	0.17
	Шл	4.14	35.42	19.65				
2	Ме	44.36	48.06	0.66	3.9	4.12	0.009	0.09
	Шл	1.97	34.66	22.82	0.015	0.08		
3	Ме	56.9	42.8	0.6			0.12	0.98
	Шл	4.64	34	18.7				

1. Агафонов С.Н., Красиков С.А. и др., Неорганические материалы., Т. 48, № 8, 927, (2012).
2. Агафонов С.Н., Красиков С.А., Расплавы, №6, 37-42, (2012).
3. Агафонов С.Н., Красиков С.А. и др., Цветные металлы, № 12, 66–70, (2013).

STUDY OF THE CHANGE of PHASE COMPOSITION OF CO_x/Ni_y NANOTUBES DEPENDING On THE POTENTIAL DIFFERENCE

Aleshova N.^{1*}, Kozlovskiy A.¹, Kaliekperov M.¹, Eliseev I.²

¹⁾ L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²⁾ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: nazgyl-91@mail.ru

Important aspects of the development of the nanotechnology are methods and mechanisms of synthesis of nanostructures. One of the most efficient methods is template synthesis in which the porous material is used as a template (in our case track membrane). This method allows the synthesis of nanoscale objects of various shapes and sizes which can be controlled precisely [1-5].

Track membranes fabricated from polyethylene terephthalate (PET) type Hostaphan® manufactured by «Mitsubishi Polyester Film» (Germany) were used as a template matrices. The films were irradiated on heavy ion accelerator DC-60 by accelerated krypton ions with energy of 1.75 MeV/nucleon and flux 1.00E+09 ion/cm². Electrolyte solution: CoSO₄×7H₂O (120 g/L), NiSO₄×6H₂O (100,14 g/L), H₃BO₃ (45 g/L), C₆H₈O₆ (1,5 g/L).

**РАЗРАБОТКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ОСНОВ
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ
МЕТАЛЛОТЕРМИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ
СПЛАВОВ, СОДЕРЖАЩИХ ТИТАН И ЦИРКОНИЙ**

Агафонов С.Н.^{*}, Красиков С.А., Пономаренко А.А., Жилина Е.М.

Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

*E-mail: AgafonovS@yandex.ru

**DEVELOPMENT OF PHYSICO-CHEMICAL BASIS OF RESOURCE-
SAVING TECHNOLOGY OF METALLOTHERMAL PRODUCTION OF
ALUMINUM ALLOYS CONTAINING TITANIUM AND ZIRCONIUM**

Agafonov S.N.^{*}, Krasikov S.A., Ponomarenko A.A., Zhilina E.M.

Institute of Metallurgy UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Due to the lack of reliable domestic technology of manufacturing zirconium-aluminum master-alloys, Russian producers of titanium products are forced to buy the said alloys abroad. Economic difficulties and volatile foreign exchange rates result in 2-3 times increasing price of the alloys. In this regard, the development of Russian technology of production of the alloys containing titanium and zirconium is very relevant in terms of import substitution.

Вследствие отсутствия стабильной отечественной технологии получения цирконий-алюминиевых лигатур, российские производители титановых изделий вынуждены покупать указанную лигатуру за рубежом. Экономические трудности и нестабильные курсы иностранной валюты увеличивают цену сплавов в 2 – 3 раза. В связи с этим, разработка российской технологии получения сплавов содержащих титан и цирконий является очень актуальной с точки зрения импортозамещения.

Проведена термодинамическая оценка алюминотермического восстановления оксидов титана и циркония с использованием метода компьютерного моделирования. Выявлено, что при условии образования интерметаллических соединений возможно взаимодействие диоксидов титана и циркония с алюминием с полнотой восстановления более 90 %.

Исследован фазовый состав продуктов металлотермических плавов – металла и шлака, что позволяет установить влияние состава шихт на образование алюминидов титана и циркония, а также особенности образования соединений в шлаках [1].

Изучено влияние диоксида титана и диоксида циркония на поверхностное натяжение, плотность, вязкость и электропроводность шлаковых расплавов, используемых в технологии получения алюминий-титан и цирконийсодержащих сплавов электропечным способом [2].

СЕКЦИЯ 4

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И РАДИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

личение рабочего диапазона pH и необратимость сорбции цезия, поэтому дальнейшее изучение свойств полученного образца модифицированного клиноптилолита представляет интерес.

Для исследования процессов, протекающих при синтезе модифицированного сорбента был привлечен метод ИК-спектроскопии. Снятие ИК-спектров осуществляли в среде KBr на ИК-КР-спектрометре Vertex-70 с приставкой RAM-II фирмы Bruker. Полученные ИК-спектры представлены на рис. 1. Все спектры имеют пики поглощения в области $794\pm 10\text{ см}^{-1}$, $726\pm 10\text{ см}^{-1}$ и $1066\pm 10\text{ см}^{-1}$, характерные для алюмосиликатов. На инфракрасном спектре конечного образца модифицированного клиноптилолита появляется пик поглощения $2017\pm 10\text{ см}^{-1}$, характерный для ферроцианидной группировки.

В настоящее время продолжают эксперименты по изучению сорбционных свойств полученного образца модифицированного клиноптилолита, а также исследование возможности его применения для снижения перехода цезия из загрязненных почв в растения.

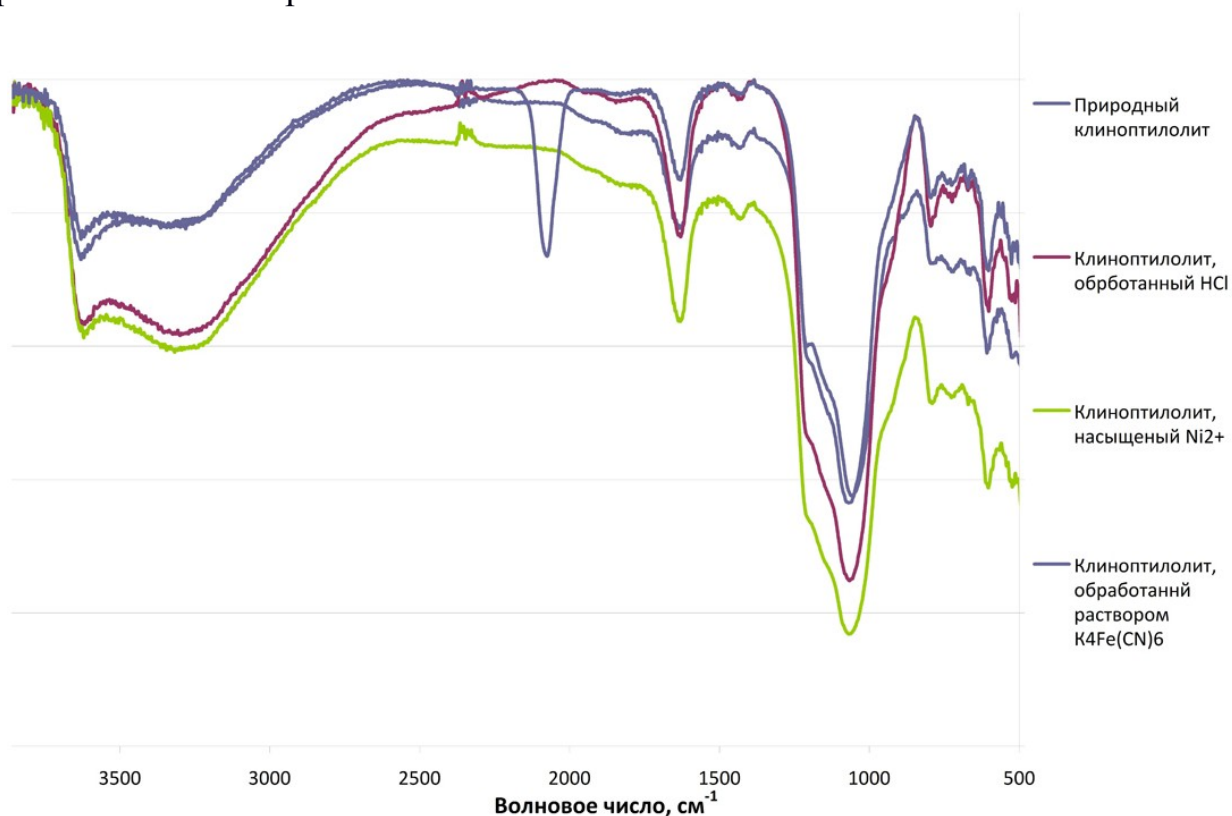


Рис. 1. ИК-спектр образцов модифицированного клиноптилолита на различных стадиях синтеза

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНО-МОДИФИЦИРОВАННОГО КЛИНОПТИЛОЛИТА

Рябухина В.Г., Семенищев В.С.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: vovius82@mail.ru

THE STUDY OF PROPERTIES OF A SURFACE MODIFIED CLINOPTILOLITE

Ryabukhina V.G., Semenishchev V.S.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The work deals with characterization of a clinoptilolite sample modified by nickel-potassium ferrocyanide. Caesium distribution coefficients were determined for natural and modified clinoptilolites. IR spectra were obtained for samples on every step of chemical modification.

На кафедре радиохимии и прикладной экологии УрФУ был разработан метод поверхностного модифицирования различных сорбционно-активных носителей фазой смешанного ферроцианида никеля-калия для повышения эффективности извлечения цезия из жидких сред и реабилитации радиоактивно-загрязненных территорий. Метод включает кислотную активацию сорбционных центров исходного носителя, насыщение ионами Ni^{2+} и последующую обработку насыщенного никелем носителя раствором $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$. В данной работе в качестве исходного носителя был взят клиноптилолит (Россия, Читинская область), фракция 0,25 – 0,4 мм.

Была исследована статика межфазного распределения цезия для природного и поверхностно-модифицированного глауконита. Эксперименты проводили на водопроводной воде с использованием стабильного цезия в виде CsCl и метки Cs-137 . Объем пробы $V = 50$ мл, масса сорбента $m = 30$ мг. Концентрация Cs была в диапазоне от 10^{-6} до 10^2 мг/л. Активность пробы измеряли с гамма-спектрометра МКС-АТ1315 «Атомтех». Время измерения от 100 до 600 секунд в зависимости от активности пробы.

Результаты статических экспериментов показали, что в результате поверхностного модифицирования клиноптилолита коэффициент распределения цезия повышается, хотя и не очень значительно: с $5,5 \cdot 10^3$ мл/г для природного клиноптилолита до $1,4 \cdot 10^4$ мл/г для модифицированного. В то же время, ранее проведенные исследования показали, что при модифицировании других природных алюмосиликатов характерно увеличение коэффициентов распределения цезия в 10-100 раз. Вероятно, что худшие свойства исследованного образца клиноптилолита связаны с особенностями его структуры, препятствующими достаточно-му насыщению никелем. Тем не менее, для всех алюмосиликатов, модифицированных ферроцианидами переходных металлов, характерно существенное уве-

чать целому ряду требований; химическая чистота, радиохимическая чистота, радионуклидная чистота, стерильность и т.д. Технологии получения радионуклидов играют ключевую роль в их применимости для ядерной медицины.

Данная работа нацелена на изучение сорбционного поведения элементов, составляющих перспективный для ядерной медицины, генератор $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$. Была создана методика исследования процесса сорбции Ga и Ge с применением неорганических сорбентов марки «Термоксид». По методике проводили измерение сорбента на рентгено-флуоресцентном спектрометре QUANT'X с последующим расчетом материального баланса и определением степени сорбции. С помощью эталонных проб создан метод измерения Ga и Ge в программе Win Trace, определен нижний предел концентрации Ga и Ge в сорбентах Т-5 и Т-52 (~ 100 ppm).

Исследования сорбции Ga и Ge проводили в статических условиях из 0,5М раствора NaCl на сорбентах марки Т-5 и Т-52, которые представляют собой гидратированный диоксид титана с примесью 5 мол.% оксида циркония и 20 мол.% оксида олова соответственно.

В ходе исследований получены зависимости « $S - \text{pH}$ », « $\lg \varepsilon - \lg [m]$ », « $\lg C_{\text{T}} - \lg C_{\text{p}}$ » для сорбентов Т-5 и Т-52 при концентрации Ga и Ge $\sim 0,0015$ М. Получены уравнения $\lg \varepsilon = a \lg [m] + \lg k_d$ для Ga и Ge:

$$\text{Для сорбента Т-5: } \lg \varepsilon_{(\text{Ga})} = 1,6768 \lg [m]_{(\text{Ga})} + 3,8657$$

$$\lg \varepsilon_{(\text{Ge})} = 1,3325 \lg [m]_{(\text{Ge})} + 3,1479$$

$$\text{Для сорбента Т-52: } \lg \varepsilon_{(\text{Ga})} = 1,1616 \lg [m]_{(\text{Ga})} + 2,5949$$

$$\lg \varepsilon_{(\text{Ge})} = 1,1532 \lg [m]_{(\text{Ge})} + 2,4986$$

Оценена емкость сорбентов для Ga и Ge, которая равна 29 и 21 мг/г соответственно.

Получены зависимости степени сорбции Ga, Ge от pH при концентрации до 10^{-5} М и проведено их сравнение при различных концентрациях. Для германия эти зависимости в обоих случаях имеют вид пологой возрастающей кривой. Для галлия – уменьшение концентрации в растворе приводит к отсутствию минимума сорбции при $\text{pH}=5,5$, наблюдаем протяженное плато от pH 3,5 до pH 8. Полученные результаты влияния концентрации на степень сорбции Ga, Ge можно объяснить процессами образования как псевдо-, так и истинных коллоидов.

В дальнейшем планируется провести более подробный комплекс сорбционных исследований Ga и Ge на сорбентах Т-5 и Т-52 в статике и динамике в условиях отсутствия полимеризации и образования истинных коллоидов (менее 10^{-5} М).

более чем в 5 раз больше высоты (для быстрых реакторов характерно отношение, равное 2). К сожалению, это приводит к тому, реактор имеет большие габариты по ширине.

Также расчёты показали, что данный реактор имеет высокий коэффициент воспроизводства, равный 0,93. В боковом экране его значение минимально, из-за малых нейтронных потоков.

Органы регулирования у рассматриваемого реактора реализованы по схеме кластерного регулирования аналогичной ВВЭР-1000, однако для эффективного изменения коэффициента размножения нейтронов приходится использовать сборки с 80% обогащением по бору-10, что приводит к их высокой стоимости.

1. Александров А.А., Григорьев Б. А., Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара, МЭИ, (1999).
2. Зыков П. Г., Методическое руководство к расчёту курсового проекта, УГТУ-УПИ, (2011).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ГАЛЛИЯ И ГЕРМАНИЯ В ХЛОРИДНЫХ РАСТВОРАХ

Сергеенкова Т.А., Вовк С.К., Денисов Е.И.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: sergeenkova.ta@gmail.com

THE STUDY OF GALLIUM AND GERMANIUM BEHAVIOR IN CHLORIDE SOLUTIONS

Sergeenkova T.A., Vovk. S.K., Denisov E.I.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Ga and Ge sorption by T-5 and T-52 sorbents was studied under static conditions from 0.5M NaCl solution. The dependences «S – pH», «lg ϵ – lg[m]» and «lg C_T - lg C_p» were obtained for the determination of regularities of Ga and Ge interphase distribution. A comparison of it depending on the concentration Ga and Ge of the solution was done. Obtained results have shown that T-5 and T-52 sorbents are promising for development of Ge-68/Ga-68 radionuclide generator.

Целью современной ядерной медицины является профилактика, диагностика и лечение различных заболеваний органов и систем человека, включая онкологические заболевания. Уникальность методов ядерной медицины состоит в том, что они позволяют диагностировать функциональные отклонения жизнедеятельности органов на самых ранних стадиях болезни, когда человек еще не чувствует симптомы заболевания. Для синтеза РФП радионуклиды должны отве-

КОНЦЕПТ ВОДО-ВОЛЯННОГО РЕАКТОРА НА ЗАКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Анисимов И.С.*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: Fiar920@gmail.com

CONCEPT OF SUPERCRITICAL WATER REACTOR

Anisimov I.S.*

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The possibility of creating supercritical water reactor was considered. The thermal and neutron physics calculations were made. The possibility of creation of this reactor was shown; however, some problems such as high pressure and large radial size are assumed.

Была рассмотрена возможность создания водо-водяного реактора тепловой мощностью 1500 МВт, работающего на закритических параметрах теплоносителя. За основу были взяты топливные сборки реактора ВВЭР-1000 с оксидным урановым топливом, однако, с уменьшенным до 9,5 мм шагом твэльной решетки. Параметры теплоносителя выбраны так, что давление превышает критическое для воды, а температура изменяется в небольших пределах около критической температуры. Критические параметры для воды: давление – 22,064 МПа, температура – 373,946°C [1].

Исходя из теплового расчёта можно сделать вывод о том, что вода при давлении 22,5 МПа и в диапазоне температур 365°C – 368°C является отличным теплоносителем. Пик теплоёмкости достигает 88,58 кДж/кг, также при закритическом переходе падают значения термического сопротивления. Всё это позволяет создать реактор с очень малой долей теплоносителя в активной зоне (21%), что в свою очередь позволяет добиться «жесткого» спектра нейтронов в реакторе. Объемное энерговыделение удалось увеличить более, чем в 2 раза по сравнению с реактором ВВЭР-1000 (268,8 МВт/м³ против 108,4 МВт/м³).

Нейтронно-физический расчёт по методу Шихова-Новожилова [2] показал, что требуемое обогащение составляет 17,26% по урану-235 в топливе. Это сравнимо с обогащением топлива в реакторе БН-600. Доля энерговыделения к концу кампании за счёт деления изотопа урана-238 составляет 13% и 21% во второй активной зоне и первой соответственно, что также сопоставимо с реактором БН-600.

Стоит отметить, что плотность теплоносителя сильно меняется в пределах активной зоны (падает в 2 раза) и в четыре раза меньше плотности воды в холодном реакторе. Это ведёт к тому, что очень сложно реализовать отрицательный температурный эффект реактивности во всём диапазоне рабочих температур. Чтобы этого добиться, геометрия реактора выбрана так, что его диаметр

надлежит реакторному отделению и находится в непосредственной близости с бассейном выдержки (БВ-4). Все операции в ЗК осуществляются дистанционно из операторского помещения специальным персоналом. Исследовательские работы и технологические операции проводятся в облицованном коррозионно-стойкой сталью корпусе защитной камеры, разделённом на 2 отсека: отделение разделки, отделение исследований и утилизации.

Назначение ЗК:

1. Периодическая проверка проектных характеристик ТВС, органов регулирования и других элементов, важных для безопасности (реакторных сборок) в процессе их эксплуатации;
2. Перестановка дефектных ОТВС в герметичные пеналы;
3. Разделка реакторных сборок и подготовка пеналов с элементами разделанных сборок к отправке в сторонние организации;
4. Подготовка фрагментов реакторных сборок и РАО, образующихся при разделке, к передаче в бассейн выдержки и к последующей утилизации.

Цель создания ЗК:

Обеспечение поддержания и увеличения проектного ресурса реакторных сборок и активной зоны в целом реактора БН-800 путём проведения послеэксплуатационного контроля их работоспособности.

Достижение цели возможно при решении следующих задач:

1. Получение массовой оперативной информации о работоспособности конструкций реакторных сборок всех проектных и будущих инновационных типов, о поведении в условиях эксплуатации конструкционных, топливных, поглощающих и других перспективных материалов;
2. Обеспечение сторонних организаций представительными объектами, фрагментами, образцами реакторных сборок для послереакторных материаловедческих исследований;
3. Выяснение причин возникновения возможных отклонений от нормальных режимов эксплуатации реакторных сборок;
4. Разработка рекомендаций по повышению качества изготовления комплектующих реакторных сборок и их надёжности при повышении ресурсных характеристик в условиях эксплуатации реактора БН-800 с активными зонами, модернизируемыми в течение установленного срока службы;
5. Обеспечение принципа эксплуатации топливных сборок с «нулевым дефектом»;
6. Поддержка работ по возможному продлению срока службы энергоблока №4 Белярской АЭС с реактором БН-800 и последующему выводу его из эксплуатации.

1. Козманов Е.А, Огородов А.Н, Чуев В.В, Исследование конструкционных материалов элементов активной зоны быстрых натриевых реакторов, 3-83 (1994)
2. Баканов М.В, Ненахов А.В, Чуев В.В, Дудниченко И.С, Леликов О.Н, Ядерная энергетика, 167-186 (2009)

при извлечении палладия (II) из 0.1 М хлорида натрия составила около $54 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$, в то время как для катионита КУ-2×8 этот показатель практически равен нулю, что говорит о более высоких кинетических характеристиках первого сорбента. Различия в величинах полной динамической сорбционной емкости между индивидуальным катионитом КУ-2×8 и композиционным сорбентом составили около 21% в пользу последнего. Емкость композиционного сорбента по палладью(II) превысила $122 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$.

Полученные результаты выявили перспективу применения композиционных сорбентов с активной сульфидной компонентой, находящейся в нанодисперсном состоянии, для селективного извлечения палладия(II), других металлов платиновой группы из технологических растворов гидрохимической переработки металлургического сырья.

1. Абовский Н.Д., Блохин А.А. и др., Сорбционные и хроматографические процессы, 7, 264 (2007).
2. Бобылев А.Е., Марков В.Ф. и др., Журнал прикладной химии, 87, 581, (2014).

СОЗДАНИЕ ЗАЩИТНОЙ КАМЕРЫ РЕАКТОРА БН-800 ЭНЕРГОБЛОКА №4 БЕЛОЯРСКОЙ АЭС

Барабанов Д.Д.^{1*}, Купряжкин А.Я.¹, Чуев В.В.²

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Белоярская атомная станция», Свердловская обл., Г. Заречный, Россия

*E-mail: barabanovdd@yandex.ru

CREATING OF THE HOT CELL FOR RESEARCHINGS OF THE BN-800 REACTOR'S ASSEMBLIES ON THE 4-TH POWER UNIT OF BELOYARSKAYA NPP

Barabanov D.D.^{1*}, Kupryazhkin A.Ya.¹, Chuev V.V.²

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Beloyarskaya nuclear power plant, Sverlovskiy region, Zarechniy, Russia

A hot cell of nuclear power plant's power unit is a researching laboratory, where reactor assemblies are investigating for safety after work in the nuclear reactor. The 4-th power unit of Beloyarskaya NPP is still under construction. Creating of the hot cell within the power unit is critically important in case of modifying of the power core with new reactor assemblies filled by MOX-fuel.

Защитная камера БН-800 (ЗК) расположена внутри строящегося энергоблока №4 с реакторной установкой БН-800 Белоярской АЭС, г. Заречный, Свердловская область. ЗК входит в состав проекта энергоблока, территориально при-

металлам платиновой группы проявляют сорбенты, содержащие в своем составе серу и тиомочевинные группы [1].

Ранее нами были разработаны условия синтеза композиционных сорбентов на основе сульфидов металлов, иммобилизованных в матрице сильнокислого катионита КУ-2×8 [2]. Полученные композиционные сорбенты с высокой эффективностью извлекали ионы тяжелых цветных металлов из водных растворов сложного солевого состава. Наибольшей селективностью к тяжелым металлам отличался композиционный сорбент “КУ-2×8 – PbS”, емкость по меди которого превышала 140 мг/г.

В данной работе была исследована сорбция указанным композиционным сорбентом одного из элементов платиновой группы: палладия из водного раствора его хлорида в присутствии фонового электролита.

Синтез сорбента проводили в динамических условиях по методике, описанной в работе [2]. Сорбцию палладия(II) осуществляли из раствора его хлорида с концентрацией 0.005 М в присутствии 0.1 М хлорида натрия, играющего роль фонового электролита, со скоростью 1 мл/см²×мин. Фильтрат отбирали в колбы по 50 мл, концентрацию палладия(II) в фильтрате определяли фотоколориметрическим методом. В целях сравнения в аналогичных условиях проводили сорбцию палладия на индивидуальном катионите КУ-2×8.

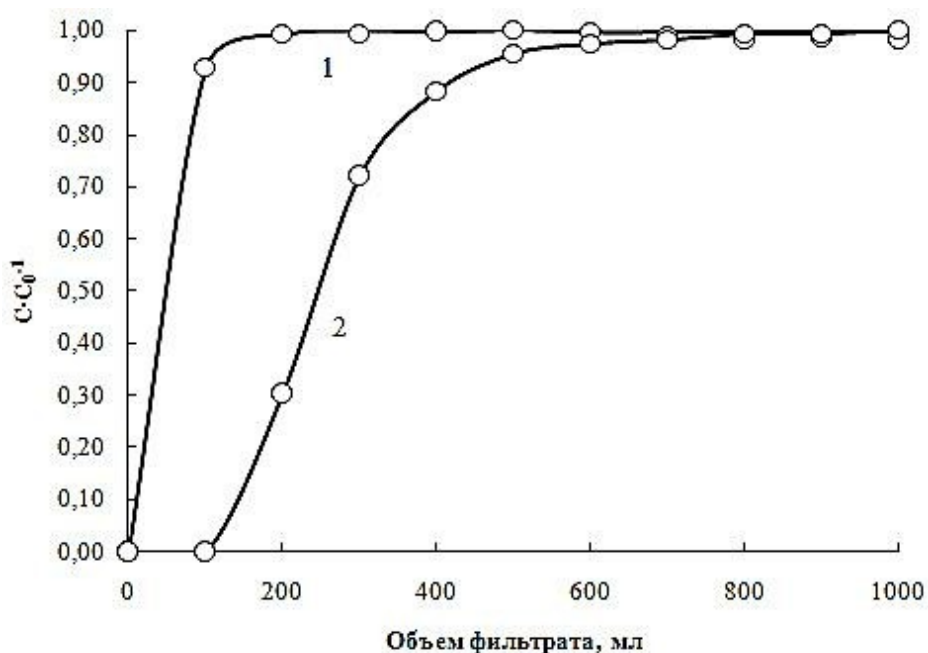


Рис. 1. Выходные кривые сорбции палладия из 0.005 М раствора PdCl₂ в присутствии 0.1 М хлорида натрия катионитом КУ-2×8 (1), композиционным сорбентом КУ-2×8 - PbS (2).

Как видно из рисунка, композиционный сорбент КУ-2×8 - PbS превосходит индивидуальный катионит КУ-2×8 при сорбции палладия(II) как по сорбционной емкости “до проскока”, так и по полной динамической сорбционной емкости. Было установлено, что емкость “до проскока” композиционного сорбента

- При температурах анализа (2500-3000°C) в системе $\text{AlCl}_3\text{-KCl-Al}_2\text{O}_3\text{-С}_{\text{тигель}}$ происходит образование летучих субоксидов, оксикарбидов, оксихлоридов алюминия, способных вынести кислород из реакционной ячейки в не аналитически активной форме (СО);
- $\text{AlCl}_3\text{-KCl}$ в ходе анализа испаряется и конденсируется на холодных частях печи, газопроводах и т.д. Дальнейший гидролиз хлорида атмосферной влагой приводит к необратимому разрушению элементов установки.

Термодинамический анализ системы показал, что газообразный СО является единственным носителем кислорода в условиях равновесия. Поэтому основное внимание было уделено кинетическим факторам, т.е. созданию более тесного и продолжительного контакта компонентов пробы. Для этого в тигель над пробой помещался графитовый порошок. Вместе с этим для подавления образования летучих субоксидов алюминия предложено введение в систему под слой графитового порошка оловянной ванны, насыщенной карбидом кремния.

Данный подход позволил добиться показателя точности в 7 отн % для синтетических образцов $\text{AlCl}_3\text{-KCl-Al}_2\text{O}_3$ с содержанием кислорода от 1 до 5 мас %.

СОРБЦИЯ ПАЛЛАДИЯ(II) КОМПОЗИЦИОННЫМ СОРБЕНТОМ “КАТИОНИТ КУ-2×8-СУЛЬФИД СВИНЦА”

Бобылев А.Е.^{1*}, Марков В.Ф.^{1, 2}, Маскаева Л.Н.^{1, 2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: boblv@el.ru

SORPTION OF PALLADIUM (II) ON COMPOSITE SORBENT "CATION EXCHANGE RESIN KU-2×8-LEAD SULFIDE"

Bobylev A.E.^{1*}, Markov V.P.^{1, 2}, Maskaeva L.N.^{1, 2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Ural institute of Ministry for Emergency Situations of Russia, Yekaterinburg, Russia

Sorption of palladium by lead sulfide based composite sorbents from aqueous solutions containing palladium chloride 0.005 M and sodium chloride 0.1 M was studied in this work. The results obtained have shown the prospects of use of this composite sorbent for palladium and other PGMs separation from industrial solutions.

Наиболее перспективным методом концентрирования металлов платиновой группы, в том числе и палладия(II), из растворов сложного солевого состава является ионообменная сорбция. Наибольшую селективность по отношению к

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В ОБРАЗЦАХ НА ОСНОВЕ $\text{AlCl}_3\text{-KCl}$

Данилов Д.А.^{*}, Карпов В.В., Онуфриева Т.А., Воинков А.Ю.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: daniilinad@gmail.com

DETERMINATION OF OXYGEN IN SAMPLES BASED ON $\text{AlCl}_3\text{-KCl}$

Danilov D.A., Karpov V.V., Onufriyeva T.A., Voinkov A.Y.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The determination of oxygen by carrier gas hot extraction is applied for samples based on $\text{AlCl}_3\text{-KCl}$. Good accuracy was achieved using graphite powder and tin bath saturated with silicon carbide.

Атомная энергетика является одной из наиболее наукоёмких отраслей промышленности. Постоянный поиск новых безопасных, экономичных, универсальных технологий требует применения надежных и точных методов контроля состава технологических продуктов.

Одним из бурно развивающихся направлений в атомной промышленности является использование расплавов солей как технологической среды для процессов разделения и концентрирования. Примером такой системы является эквимольная смесь хлоридов алюминия и калия ($\text{AlCl}_3\text{-KCl}$). Свойства расплава позволяют использовать его в процессе рафинирования циркония или в качестве теплоносителя перспективных ядерных реакторов. Критически важной характеристикой такой системы является содержание кислорода.

В настоящее время аналитическая химия ограничена в выборе надёжного и доступного метода контроля содержания кислорода. Методы либо дороги, либо не позволяют добиться требуемых метрологических показателей.

При анализе содержания кислорода в металлах и сплавах зарекомендовал себя метод восстановительного плавления. В основе его лежит перевод кислорода из образца в газовую фазу в форме окиси углерода при плавлении в вакууме или в среде инертного газа в графитовом тигле.

Представляло интерес применить метод восстановительного плавления для определения содержания кислорода в образцах на основе $\text{AlCl}_3\text{-KCl}$.

Задача осложняется рядом факторов:

- $\text{AlCl}_3\text{-KCl}$ гигроскопичен и поглощенная вода завышает содержание кислорода при анализе;
- Кислород в $\text{AlCl}_3\text{-KCl}$ в основном содержится в виде оксида Al_2O_3 . Сродство кислорода к алюминию одно из самых высоких среди металлов, что требует повышенных температур при анализе;

$$\lg a_{\beta-La(Ga-Al)} = 5,725 - \frac{15580}{T} \pm 0,093 \text{ and } \lg a_{La(Ga-Al)} = 6,139 - \frac{16068}{T} \pm 0,093 .$$

Расчеты показали, что при использовании жидких металлов (в частности алюминия) в пирохимических процессах переработки облученного ядерного топлива можно достичь высоких коэффициентов разделения урана и продуктов деления. Для снижения температуры процесса может быть использован не чистый алюминий, а эвтектическая смесь с галлием.

В данной работе методом ЭДС была определена активность лантана в сплаве Ga-Al эвтектического состава.

Для проведения экспериментов использовалась гальваническая ячейка: (-) Ж+LaIn₃ | LiCl-KCl-CsCl+LaCl₃ | La-Ga-Al (+), в которой электродом сравнения выступал двухфазный жидкометаллический сплав (Ж + LaIn₃), а рабочими электродами насыщенные двухфазные (Ж+ИМС) и гомогенные La-Al-Ga сплавы. Для измерения разности потенциалов между электродами компенсационным методом (при нулевом токе) использовали потенциостат / гальваностат Autolab 302N с программным обеспечением GPES 4.9.

При определении активности лантана в исследованных системах в качестве стандартного состояния принимали как β -лантан так и переохлажденный жидкий лантан. При этом в расчёт величин электродных потенциалов вносили поправку, определяемую по уравнению:

$$\Delta E = - \left(\frac{R \cdot T}{n \cdot F} \right) \cdot \ln a_0$$

где a_0 – активность лантана при рабочей температуре относительно β -лантан или жидкого лантана.

Величину $\ln a_0$ рассчитывали с использованием известных термодинамических характеристик полиморфных превращений лантана.

Согласно полученным результатам температурная зависимость активности β -La в двухфазных сплавах La-Al-Ga в интервале 573–1073 К описывается уравнением:

$$\lg a_{\beta-La(Ga-Al)} = 5,725 - \frac{15580}{T} \pm 0,093$$

Активность переохлажденного лантана для данного температурного интервала описывается уравнением:

$$\lg a_{La(Ga-Al)} = 6,139 - \frac{16068}{T} \pm 0,093$$

сколько стадий или происходит на различных типах сорбционных центров. Модифицирование сорбента приводит к значительному увеличению наблюдаемой константы скорости процесса на начальном участке кинетической кривой: наблюдаемая константа скорости, определенная для этих участков, составляет для гранулированного глауконита $0,06 \text{ ч}^{-1}$, а для поверхностно-модифицированного гранулированного глауконита – $0,16 \text{ ч}^{-1}$.

В результате проведенных экспериментов показано, что поверхностное модифицирование значительно увеличивает коэффициент распределения цезия в диапазоне исходных концентраций до 10^{-4} г/л и скорость процесса сорбции.

Таким образом, поверхностно-модифицированные ферроцианидные сорбенты на основе гранулированного глауконита могут быть рекомендованы в качестве сорбционных материалов для очистки пресных вод от радионуклидов цезия.

1. Способ получения гранулированного глауконита: пат. на изобретение 2348453 / Беднягин Г.В., Бетенеков Н.Д., Кутергин А.С., Кутергина И.Н.; № 2007140647/15; заявл. 01.11.2007; опубл. 10.03.2009; Бюл. № 7; приоритет от 01.11.2007.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛАНТАНА В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ ЭВТЕКТИЧЕСКОЙ СМЕСИ ГАЛЛИЯ И АЛЮМИНИЯ

Дедюхин А.С.^{1*}, Митенкова Е.А.¹, Щетинский А.В.¹,
Ямщиков Л.Ф.¹, Осипенко А.Г.²

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ ОАО «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов», г. Димитровград

*E-mail: a.s.dedyukhin@urfu.ru

THERMODYNAMIC PROPERTIES OF LANTHANUM IN ALLOYS BASED ON GALLIUM-ALUMINUM EUTECTIC MIXTURE

Dedyukhin A.S.^{1*}, Mitenkova E.A.¹, Shchetinskiy A.V.¹,
Yamschikov L.F.¹, Osipenko A.G.²

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ JSC “State Scientific Centre - Research Institute of Atomic Reactors”,
Dimitrovgrad, Russia

Activity of lanthanum was determined for the first time in gallium-aluminum eutectic based alloys. Measurements were performed between 573-1073 K employing electromotive force method. Activity of β -La and super cooled liquid lanthanum in Ga-Al eutectic based alloys linearly depends on the reciprocal temperature:

as a binder and then surface-modified by potassium ferrocyanide. As a result of experiments, sorption features of sorbents based on granular glauconite were determined; the improving of sorption features (distribution coefficient and rate constant) as a result of modifying was shown.

Одним из перспективных и доступных материалов для очистки пресных природных вод и слабоактивных жидких отходов от радионуклидов цезия является природный глауконит. Гранулирование мелкодисперсного глауконита методом экструзии значительно улучшило его эксплуатационные характеристики [1].

В представленной работе проведено сравнение сорбционных свойств гранулированного глауконита, синтезированного с использованием в качестве связующего воды, и поверхностно-модифицированного ферроцианидного сорбента на его основе по отношению к радионуклидам цезия.

В статических условиях получены изотермы сорбции из пресных вод в широком диапазоне концентраций цезия. В результате была определена область Генри, которая составила (10^{-6} – 10^{-4}) мг/мл (рис. 1).

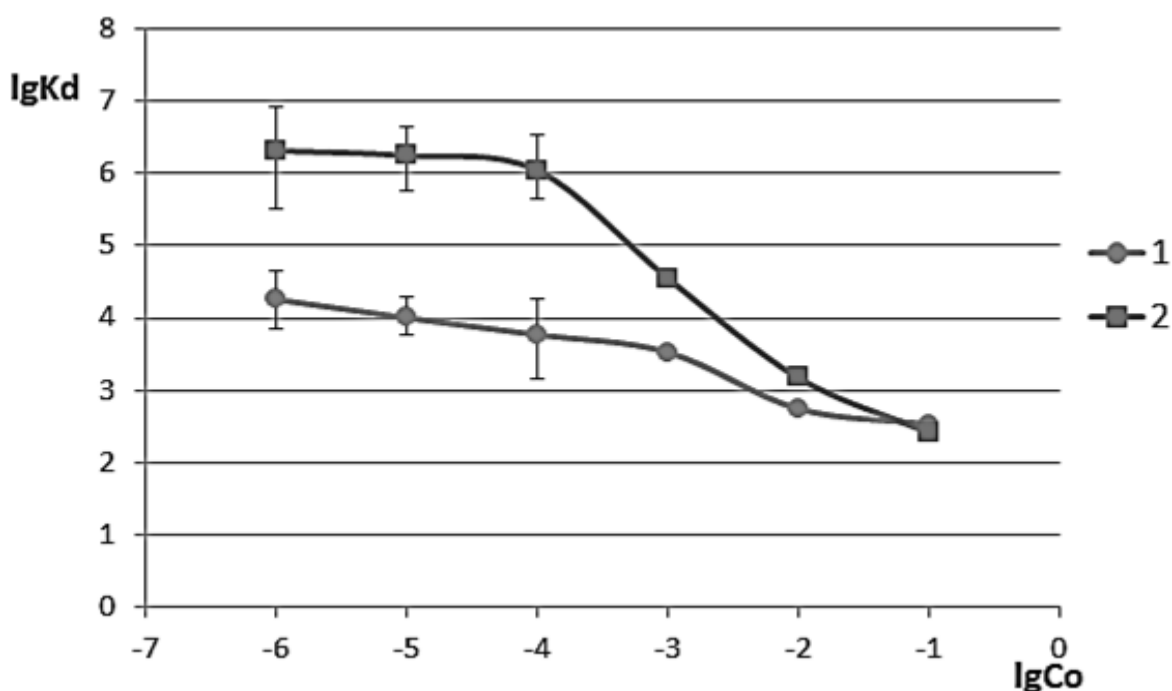


Рис. 1. Зависимость коэффициента распределения от исходной концентрации цезия в растворе: 1 – гранулированный глауконит, 2 – поверхностно-модифицированный глауконит; время контакта фаз – 3 недели

Для этого диапазона концентраций цезия в растворе оценены значения коэффициентов распределения (K_d): для гранулированного глауконита – $1,1 \cdot 10^3$ мл/г и для поверхностно-модифицированного сорбента – $1,6 \cdot 10^6$ мл/г.

Для оценки влияния модифицирования на кинетику сорбции цезия были получены временные зависимости. Вид кинетических кривых в координатах « $-\ln(1-F) - t$ » свидетельствует о том, что процесс сорбции осуществляется в не-

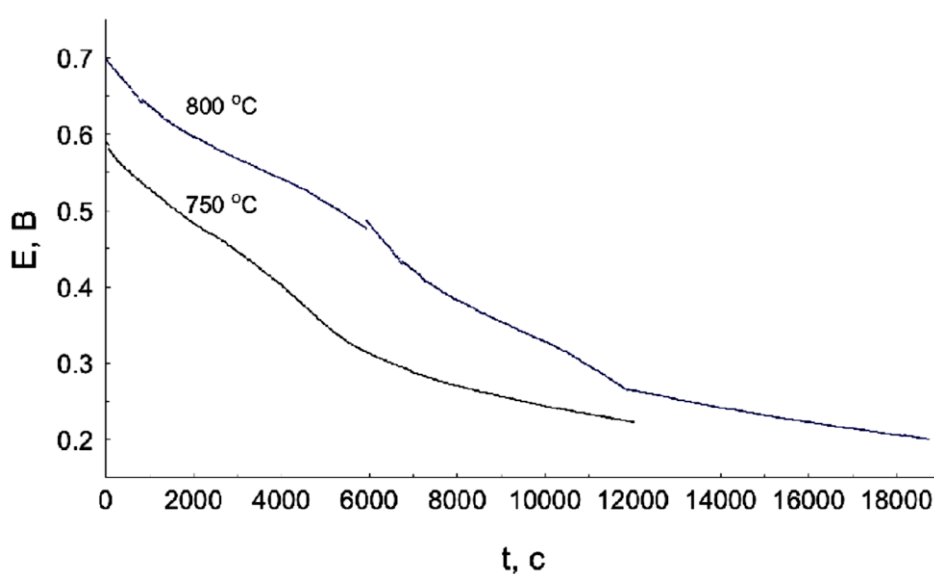


Рис. 1. Изменение потенциала вольфрамового электрода во времени после завершения процесса анодного растворения. Электролит – NaCl-CsCl, температура – 750 и 800°C, электрод сравнения Ag/AgCl (1 мол. % в NaCl-CsCl)

1. С.Н. Школьников —Равновесные потенциалы вольфрама в расплаве хлоридов калия и натрия, Журнал прикладной химии (Санкт-Петербург, Россия) (1973), 46 (9), 1918-21.
2. А.М. Виноградов —Равновесные потенциалы вольфрама в расплаве KCl – KF – WCl₆, Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия, 1981, No5.
3. М.В. Смирнов. Электродные потенциалы в расплавленных хлоридах. М., —Наука, 1973.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СОРБЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАНУЛИРОВАННОГО ГЛАУКОНИТА ПО ОТНОШЕНИЮ К РАДИОНУКЛИДАМ ЦЕЗИЯ

Иманова В.В.^{*}, Недобух Т.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: imanova.92@mail.ru

THE STUDY OF MODIFICATION EFFECT ON SORPTION CHARACTERISTICS OF GRANULAR GLAUCONITE WITH RESPECT TO CESIUM RADIONUCLIDES

Imanova V.V.^{*}, Nedobukh T.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The comparative study of sorption features of granular glauconite with respect to cesium radionuclides was performed in this work. The glauconite was granulated using water

ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬФРАМСОДЕРЖАЩИХ ХЛОРИДНЫХ РАСПЛАВОВ

Иванов А.Б., Поскряков Д.А., Волкович В.А. Подласова К.О.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: chuvash@yandex.ru

POTENTIOMETRIC STUDY OF TUNGSTEN CONTAINING CHLORIDE MELTS

Ivanov A.B., Poskryakov D.A., Volkovich V.A. Podlasova K.O.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Equilibrium electrode potentials of tungsten were measured in molten binary NaCl-CsCl and ternary NaCl-KCl-CsCl eutectic mixtures between 580–800 °C, and formal standard electrode potentials were calculated.

В литературе практически отсутствуют данные об электродных потенциалах W в хлоридных расплавах. Ранее [1] было показано, что W в расплаве NaCl-KCl присутствует в равновесии с металлом в виде ионов различных степеней окисления (+4 и +5). На основании анализа экспериментальных данных авторами [1] были рассчитаны величины условных стандартных электродных потенциалов вольфрама W^{4+}/W и W^{5+}/W , а также окислительно-восстановительного потенциала W^{5+}/W^{4+} . В смешанных хлоридно-фторидных расплавах в контакте с металлическим W также присутствуют ионы различных степеней окисления. Ранее это было показано на примере расплава KCl-KF в работе [2].

В данной работе были проведены потенциометрические измерения в вольфрамсодержащих расплавах на основе эвтектических смесей NaCl-CsCl и NaCl-KCl-CsCl. Вольфрам в расплав задавали анодным растворением металла. В процессе выдержки величина электродного потенциала смещалась в отрицательную область, пример изменения потенциала во времени представлен на рисунке.

Скорость, с которой происходило изменение величины электродного потенциала, постепенно снижалась, однако даже после 3-5 часовой выдержки в ряде случаев окончательной стабилизации потенциала не происходило.

В работе [3] описана методика, которая была использована для расчёта величин условных стандартных потенциалов металлов, находящихся в равновесии с ионами двух степеней окисления. Для расплава NaCl-2CsCl получены следующие значения величин условного стандартного потенциала W^{4+}/W : $-1,105 \pm 0,041$ В (600 °C); $-1,119 \pm 0,046$ В (700 °C) и $-1,146 \pm 0,047$ В (750 °C). Полученные значения потенциалов смещены в отрицательную область, по сравнению с имеющимися в литературе значениями для расплавов на основе эквивалентной смеси хлоридов натрия и калия.

цесса в солевой расплав переходят ионы W в степени окисления 4+. Электронная спектроскопия поглощения – это один из методов исследования комплексных ионов d-элементов с частично заполненными d-оболочками.

Анодное растворение металлического W проводилось под атмосферой высокочистого Ar, при анодной плотности тока около $0,1 \text{ А/см}^2$. Продолжительность растворения 600 секунд. Затем проводилась регистрация ЭСП. По результатам химического анализа проведен расчет коэффициентов экстинкции хромофора в расплаве.

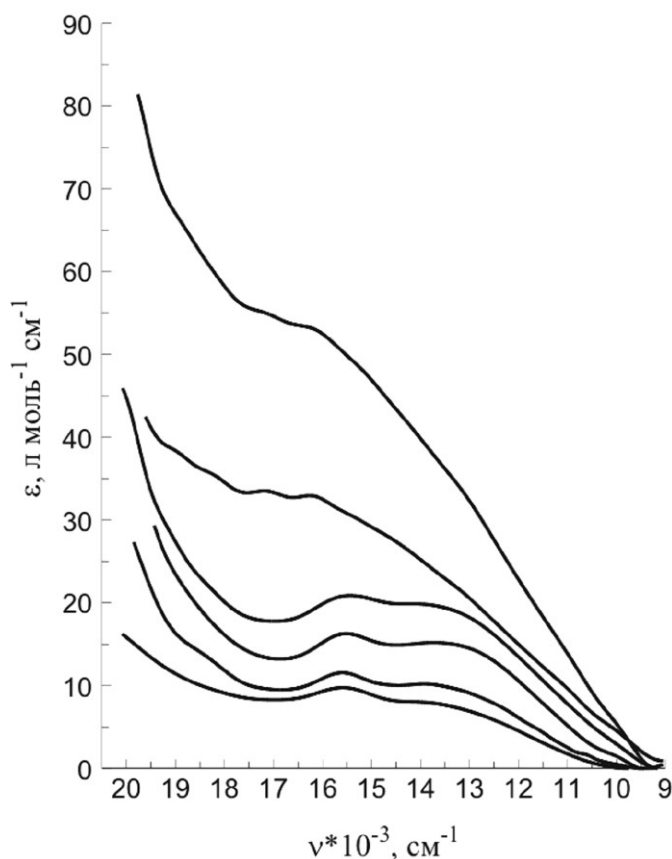


Рис. 1. Влияние температуры на ЭСП продуктов анодного растворения вольфрама в расплаве эвтектической смеси NaCl-CsCl (Температура (снизу вверх), С: 550, 600, 650, 750, 800, 850).

Оксидиметрический анализ замороженных проб, отобранных после регистрации ЭСП показывает, что в большинстве случаев в расплаве присутствовали ионы W (IV). Также наблюдается тенденция к увеличению средней степени окисления W в расплаве с ростом температуры.

Зарегистрированные спектры представляют собой суперпозицию полос, которые могут быть отнесены к поглощению хлоридных комплексных ионов WCl_6^{2-} и оксихлоридных $\text{W}_2\text{OCl}_{10}^{4-}$. В работе [1] не исключают возможность образования соединения WOCl_5^{2-} .

Результаты разложения ЭСП показывают, что с повышением температуры максимумы полос поглощения закономерно смещаются в область меньших энергий, а также возрастает коэффициент экстинкции. ЭСП представлены на рисунке.

В литературе нет единого мнения об электронных спектрах поглощения ионов W, образующихся в расплавах хлоридов щелочных металлов.

Сравнение полученных спектральных кривых с имеющимися в литературе показывает, что ЭСП, представленные на рисунке аналогичны спектрам поглощения, отнесённым в работах [1-2] к чисто хлоридному иону вольфрама WCl_6^{2-} .

1. А.А. Хохряков, М.В. Михалева, А.М. Молчанов, Д.А. Данилов, ИК-спектры системы CsCl-Cs₂WCl₆-WO₃ при различных отношениях O/W в твердом и расплавленном состояниях // Расплавы, 2006, No 1, с. 59-64.
2. D.A. Danilov, V.A. Volkovich, B.D. Vasin, I. B. Polovov, T. R. Griffiths, – Tungsten chemistry in alkali chloride melts, Z. Naturforsch., 2007, 62a, (12), 739-744.

$\text{Mo}^{3+}/\text{Mo}^{4+}$ в области 2.3-2.6 В, причем интенсивность зафиксированных максимумов зависела от концентрации молибдена в электролите.

Таким образом, зная характеристические потенциалы выделения и перезаряда d-элементов и получив их градуировочные зависимости для максимумов на вольтамперных кривых, можно судить о присутствии ионов молибдена в хлоралюминатном расплаве, а также оценить их количество.

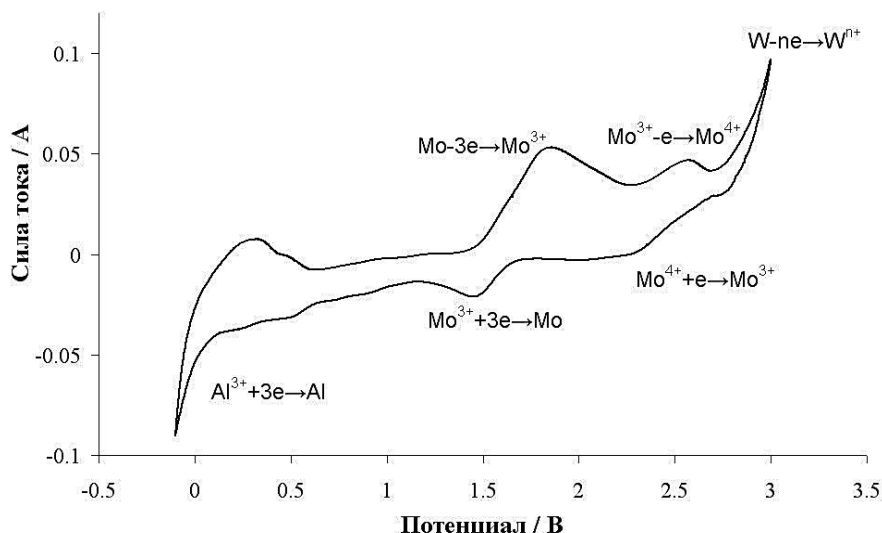


Рис. 1. ЦВА расплава $\text{KCl-AlCl}_3\text{-MoCl}_3$ при 350 °С. Скорость развертки – 200 мВ/сек. Соотношение $\text{KCl/AlCl}_3=1.09$. Содержание молибдена – 0.35 мас. %.

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ АНОДНОГО РАСТВОРЕНИЯ ВОЛЬФРАМА В РАСПЛАВЕ ЭВТЕКТИЧЕСКОЙ СМЕСИ NaCl-2CsCl

Иванов А.Б., Поскряков Д.А., Волкович В.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: chuvash@yandex.ru

SPECTROSCOPIC STUDY OF TUNGSTEN ANODIC DISSOLUTION PRODUCTS IN MOLTEN NaCl-2CsCl EUTECTIC MIXTURE

Ivanov A.B., Poskryakov D.A., Volkovich V.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

High-temperature electronic absorption spectroscopy was used to study the products of anodic dissolution of tungsten in molten NaCl-2CsCl eutectic mixture in the temperature range of 550-850 °C.

В ходе изучения процесса анодного растворения металлического W в расплавах хлоридов щелочных металлов было установлено, что в результате про-

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОЛИБДЕНА В ХЛОРАЛЮМИНАТНЫХ РАСПЛАВАХ

Карпов В.В.^{*}, Кудряшов Д.В., Половов И.Б., Ребрин О.И.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: karpov610@yandex.ru

ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF MOLYBDENUM IN THE CHLOROALUMINATES MELTS

Karpov V.V.^{*}, Kudryashov D.V., Polovov I.B., Rebrin O.I.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Chloroaluminate melts are prospective media for the second loop of molten salt fast nuclear reactor. However, application of chloroaluminates in such technologies is limited by the problem of absence of information on the physico-chemical properties of typical fission products in such media. In the present study the electrochemical properties of MoCl_3 in KCl-AlCl_3 melts at 350 °C were studied. It was also shown that cyclic voltammogrammetry can be used for estimation of molybdenum concentration in the melt.

Невысокие температуры плавления и низкая стоимость исходных веществ бинарных смесей KCl-AlCl_3 обуславливают привлекательность использования хлоралюминатных расплавов для получения и рафинирования ряда переходных металлов, а также в качестве теплоносителя второго контура жидкосолевых ядерно-энергетических установок. Однако внедрение новых электрохимических и ядерных технологий сдерживает отсутствие информации о физико-химических свойствах хлоридов d-элементов в хлоралюминатных расплавах.

В настоящей работе изучено электрохимическое поведение хлорида молибдена (взятого в виде хлормолибдата калия K_3MoCl_6) в расплаве KCl-AlCl_3 при 350 °C с помощью метода циклической вольтамперометрии (ЦВА). Все измерения проводили в кварцевой электрохимической ячейке относительно алюминиевого электрода сравнения (АлЭС) с использованием вольфрамового рабочего электрода. В виду того, что растворимость большинства хлоридов d-элементов в богатых по хлориду калия электролитах заметно выше, чем в расплавах с мольным отношением $\text{K:Al} < 1$, то для исследований были выбраны композиции с избытком по KCl . Исходная концентрация хлормолибдата калия в электролите составляла до 1 мас. %.

Показано, что потенциал вольфрамового индикаторного электрода в электролите $\text{KCl-AlCl}_3\text{-MoCl}_3$ при 350 °C составляет 1.5-1.6 В относительно АлЭС. На циклических вольтамперограммах (рис. 1) выявлены волны осаждения и растворения молибдена в интервалах около 1.4-1.5 В и 1.8-1.9 В соответственно, а также пики, соответствующие перезаряду ионов молибдена $\text{Mo}^{4+}/\text{Mo}^{3+}$ и

вале 571-1016K для Ga-Sn-U и интервале 569-1025K для Sn-U) описываются следующими уравнениями:

$$\lg a_{\gamma-U(Ga-Sn)} = 3.17 - 8.91 \cdot 10^3 \cdot T^{-1} (\pm 0.18) \quad (1)$$

$$\lg a_{l-U(Ga-Sn)} = 3.51 - 9.39 \cdot 10^3 \cdot T^{-1} (\pm 0.18) \quad (2)$$

$$\lg a_{\gamma-U(Sn)} = 3.11 - 8.79 \cdot 10^3 \cdot T^{-1} (\pm 0.18) \quad (3)$$

$$\lg a_{l-U(Sn)} = 3.45 - 9.27 \cdot 10^3 \cdot T^{-1} (\pm 0.18) \quad (4)$$

Полученные результаты хорошо согласуются с имеющимися литературными данными.

Рентгенофазовый анализ полученных интерметаллических соединений показал наличие при комнатной температуре только фаз состава UGa_3 и USn_3 в сплавах Ga-U и Sn-U соответственно.

Растворимость урана в эвтектическом сплаве Ga-Sn была определена измерением концентрации урана в насыщенном сплаве при данной температуре после осаждения избытка урана в виде интерметаллических соединений. Полученные экспериментальные зависимости в температурном интервале 293-1075K описываются следующими уравнениями:

$$\lg X_{U(Ga-Sn)} = -2.79 - 1.46 \cdot 10^3 \cdot T^{-1} (\pm 0.66) \quad (293 - 476K) \quad (5)$$

$$\lg X_{U(Ga-Sn)} = -0.02 - 2.77 \cdot 10^3 \cdot T^{-1} (\pm 0.37) \quad (476 - 1076K) \quad (6)$$

$$\lg X_{U(Ga)} = -2.55 - 1.20 \cdot 10^3 \cdot T^{-1} (\pm 0.49) \quad (296.5 - 547K) \quad (7)$$

$$\lg X_{U(Ga)} = 0.33 - 2.89 \cdot 10^3 \cdot T^{-1} (\pm 0.33) \quad (547 - 1073K) \quad (8)$$

Коэффициенты активности урана были рассчитаны как разность активности и растворимости урана в выбранном сплаве при данной температуре. Полученные температурные зависимости коэффициентов активности в пересчете на γ -U и переохлажденный жидкий уран описываются следующими уравнениями:

$$\lg \gamma_{\gamma-U(Ga-Sn)} = 0.07 - 1.43 \cdot 10^3 \cdot T^{-1} (\pm 0.18) \quad (9)$$

$$\lg \gamma_{l-U(Ga-Sn)} = 3.39 - 6.52 \cdot 10^3 \cdot T^{-1} (\pm 0.18) \quad (10)$$

$$\lg \gamma_{\gamma-U(Ga)} = 2.42 - 5.32 \cdot 10^3 \cdot T^{-1} (\pm 0.42) \quad (11)$$

$$\lg \gamma_{l-U(Ga)} = 2.77 - 5.81 \cdot 10^3 \cdot T^{-1} (\pm 0.31) \quad (12)$$

$$\lg \gamma_{\gamma-U(Sn)} = 2.62 - 6.13 \cdot 10^3 \cdot T^{-1} + 1.00 \cdot 10^6 \cdot T^{-2} (\pm 0.21) \quad (13)$$

$$\lg \gamma_{l-U(Sn)} = 2.96 - 6.61 \cdot 10^3 \cdot T^{-1} + 1.00 \cdot 10^6 \cdot T^{-2} (\pm 0.21) \quad (14)$$

чивании красного шлама с фосфорнокислым амфолитом АНКФ-221 получен концентрат с содержанием скандия 1,8 %, при этом концентрат обогащается скандием по сравнению с исходным красным шламом в 284 раза.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России рамках соглашения о предоставлении субсидии от 29.09.2014 г. № 14.581.21.0002 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».

1. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология. Книга 1: Учебник для вузов/ под редакцией С.С. Коровина – МИСИС, 1996. – 376 с.
2. Rare Earth Elements: A Review of Production, Processing, Recycling, and Associated Environmental Issues. United States Environmental Protection Agency. Report 600/R-12/572. December 2012.
3. Scandium. A review of the element, its characteristics, and current and emerging commercial applications. EMC Metals Corporation, May 2014.

ТЕРМОДИНАМИКА УРАНА В ЭВТЕКТИЧЕСКОМ РАСПЛАВЕ Ga-Sn

Мальцев Д.С.^{1*}, Волкович В.А.¹, Ямщиков Л.Ф.¹, Чукин А.В.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: d.s.maltsev@gmail.com

THERMODYNAMICS OF U IN GA-SN EUTECTIC ALLOY

Maltsev D.S.^{1*}, Volkovich V.A.¹, Yamshchikov L.F.¹, Chukin A.V.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Thermodynamic properties of uranium were studied in U-Ga, U-Sn and U-Ga-Sn systems. Activity and activity coefficients of uranium were determined in alloys with tin and gallium-tin eutectic (13.5 wt.% Sn) between 573 and 1073 K. Solubility of uranium in Ga-Sn eutectic and in pure Sn was measured between 298 and 1073 K. Activity coefficients of uranium in alloys with Ga, Sn and Ga-Sn eutectic were calculated.

Методом электродвижущих сил (э.д.с.) была определена активность урана в сплавах Ga-Sn, Ga и Sn. В работе измеряли э.д.с. следующей гальванической ячейки в интервале температур 573 - 1073 K:



где Me – легкоплавкий металл (Ga, Sn или эвтектический сплав Ga-Sn).

Экспериментальные зависимости активности в пересчете на γ -U и переохлажденный жидкий уран в сплавах Ga-Sn-U и Sn-U (в температурном интер-

Скандий – высокорассеянный редкоземельный элемент, который практически не образует собственных минералов. Содержание скандия в земной коре составляет $6 \cdot 10^{-4}$ % масс [1]. Промышленное производство скандия в мире чрезвычайно мало и не превышает 2 тонн/год [2], при этом прогнозируемая потребность в скандии к 2020 году может составить 60 тонн/год вследствие широкого внедрения топливных элементов [3].

Работа направлена на исследование возможности выделения скандия из красного шлама при использовании технологии сорбционного сернокислотного выщелачивания. Объектом исследования являлся красный шлам производства Уральского алюминиевого завода, содержащий в среднем 60-70 г скандия на тонну. В работе установлено, что при сернокислотном выщелачивании скандий переходит в водную часть пульпы пропорционально растворению макрокомпонентов красного шлама, что не дает возможности селективно выделять скандий. Для концентрирования скандия из пульпы красного шлама в процессе сорбционного выщелачивания были исследованы фосфорнокислые амфолиты АНКФ-221, S-940, TP-260 и S-950. Показано, что наибольшей селективностью к скандию в исследованных условиях обладает амфолит АНКФ-221: для него степень сорбции скандия составляет 53%, тогда как для амфолитов S-940, TP-260 и S-950 она составляет 11,8; 0,7 и 2,6 % соответственно. Статическая емкость смолы АНКФ-221 по скандию составляет 0,3 мг/г. Данные по параметрам процесса сорбционного выщелачивания скандия представлены в таблице 1.

Таблица 1. Данные по концентрированию скандия в процессе сорбционного выщелачивания

Элемент	Концентрация в КШ, % масс	Концентрация в водной части КШ после выщелачивания		Концентрация в смоле		Степень десорбции, %	Состав концентрата, % масс	Коэффициент обогащения
		мг/л	% масс	мг/г	% масс			
Al	6,1	9211,7	60,6	17,87	19,6	0,03	0,0	0,0
Ca	6,4	1960,5	12,9	9,69	10,7	0,86	0,6	0,1
Sc	0,006	11,5	0,1	0,30	0,3	84,83	1,8	284,6
Fe	20,3	3982,8	26,2	62,93	69,2	21,94	97,4	4,8
Y	0,015	25,6	0,2	0,17	0,2	0,22	0,0	0,2
Th	0,006	2,7	0,0	0,02	0,0	79,39	0,1	24,0
Σ		15194,8		90,99				

Для десорбции скандия были использованы растворы карбонатов и гидрокарбонатов натрия, калия и аммония. Установлено, что наиболее эффективно скандий десорбируется раствором карбоната натрия: степень десорбции скандия составляет 84,8%, при этом алюминий, кальций и лантаноиды практически не десорбируются. Таким образом, при сернокислотном сорбционном выщела-

^{235}U более 5% [2]. Другие требуют подпитки каскада природным ураном [3]. Третьи обеспечивают существенную очистку только от одного из минорных изотопов [4].

В настоящей работе рассмотрен метод очистки регенерированного урана в R-каскаде с одним потоком питания и промежуточным потоком отбора, основанный на методике [5]. Содержание ^{235}U не превышает 5%. Проведен численный эксперимент на примере нескольких R-каскадов.

1. Никипелов Б.В., Никипелов В.Б. Судьбы уранового регенерата. – Бюлл. по атомной энергии, 2002, №9, с.34 – 43.
2. Власов А.А., Водолазских В.В., Мазин В.И. и др. Способ изотопного восстановления регенерированного урана. Пат. РФ № 2236053 от 10.09.2004 – Бюл. «Изобретения. Полезные модели», 2004, № 25, с. 562.
3. Сулаберидзе Г.А., Борисевич В.Д., Цюаньсинь Се. Квазиидеальные каскады с дополнительным потоком для разделения многокомпонентных изотопных смесей. – Теоретические основы химической технологии, 2006, т. 40, № 1, с. 7–16.
4. Палкин В.А. Очистка регенерированного урана в каскадах с обогащением ^{235}U до 5 %. – Атомная энергия, 2013, т. 115, вып. 1, с. 28–33.
5. Палкин В.А., Маслюков Е.В. Расчет каскада с несколькими питаниями и отборами по срезам парциальных потоков. – Атомная энергия, 2012, т. 112, вып. 5, с. 309–313.

СОРБЦИОННОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ СКАНДИЯ ИЗ КРАСНОГО ШЛАМА ОАО «УРАЛЬСКИЙ АЛЮМИНИЕВЫЙ ЗАВОД»

Машковцев М.А.^{*}, Кирилов С.В., Кириллов Е.В., Боталов М.С.,
Буньков Г.М., Смышляев Д.В., Айтиева М.С.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: maxftf@yandex.ru

SORPTION LEACHING OF SCANDIUM FROM THE ‘RED MUD’ FROM URALS ALUMINUM PLANT

Mashkovtsev M. A.^{*}, Kirilov S.V., Kirillov, E.V., Botalov M.S.,
Bunkov G.M., Smyshlyaev D.S., Aitieva M.S.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The work is devoted to scandium separation from ‘red mud’ using the sorption sulfuric acid leaching technology with ANCF-221, S-940, TP-260 and S-950 ampholytes. It was established that the ANCF-221 ampholyte is the most selective for scandium under studied conditions. Solutions of sodium, potassium and ammonium carbonates were used for scandium desorption. Sodium carbonate was the most effective and selective solution for scandium removal from the ANCF-221 resin; this allows obtaining a concentrate containing 2% of scandium.

Сопоставление рассчитанной энергии Гиббса образования со стандартной соответственно для каждого элемента позволяет оценить энтальпии смешения трихлоридов РЗЭ с солью-растворителем: $\overline{\Delta H}_{GdCl_3(cm)}^* = -77$ кДж/моль; $\overline{\Delta H}_{HoCl_3(cm)}^* = -91$ кДж/моль; $\overline{\Delta H}_{ErCl_3(cm)}^* = -67$ кДж/моль.

Величины тепловых эффектов смешения указывают на упрочнение связей между Ln^{3+} и Cl^- при растворении индивидуальных солей в $(Li-K-Cs)Cl_{эвт}$ за счёт образования комплексных группировок типа $[LnCl_6]^{3-}$.

ОЧИСТКА РЕГЕНЕРИРОВАННОГО УРАНА В R-КАСКАДАХ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ОТБОРОМ

Палкин В.А., Маслюков Е.В.*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: eugene_v_m@mail.ru

REPROCESSED URANIUM REFINEMENT IN THE MARC-CASCADES WITH INTERMEDIATE PRODUCT

Palkin V.A., Maslyukov E.V.*

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

A new method of reprocessed uranium refinement is proposed. The method is based on the calculation of the MARC cascade with intermediate product flow. According to the developed method calculations were made for MARC cascades based on different uranium isotopes. The best cascade was chosen using maximum flow criteria.

Природный уран используется в качестве исходного топлива для атомных энергетических станций. После облучения в реакторе топливо преобразуется в регенерированный уран, также играющий важную роль в ядерно-топливном цикле. Он характеризуется содержанием изотопа ^{235}U , концентрация которого обычно выше, чем в природном.

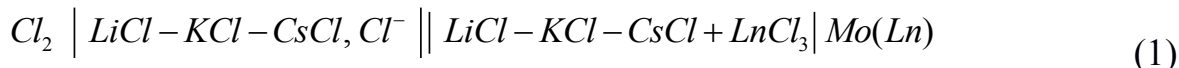
Основной проблемой использования регенерированного урана в ядерно-топливном цикле является наличие минорных изотопов $^{232}, ^{234}, ^{236}U$, которые невозможно отделить химическим путем. Два наиболее легких минорных изотопа высокорadioактивны, а тяжелый является поглотителем нейтронов, тем самым снижая качество топлива, произведенного из регенерированного урана. Таким образом, для сведения к минимуму радиационной опасности и улучшения качества топлива необходимо снижать концентрацию $^{232}, ^{234}, ^{236}U$ [1]. С этой целью можно применять каскадную технологию разделения гексафторида урана (UF_6) и операции разбавления.

Известные методики очистки регенерированного урана имеют ряд недостатков. Некоторые из них предполагают получение в каскаде смеси с содержанием

шенствования пирохимических процессов с участием РЗЭ необходимы сведения о физико-химических характеристиках расплавов, содержащих эти элементы.

В данной работе были определены условные стандартные потенциалы для гадолиния, гольмия и эрбия в расплаве эвтектической смеси хлоридов лития, калия и цезия относительно хлорного электрода сравнения.

Равновесный потенциал РЗЭ определяли методом квазистационарных потенциометрических измерений ЭДС гальванического элемента (1) относительно хлорного электрода сравнения.



Потенциометрию при нулевом токе проводили в стандартной трехэлектродной кварцевой ячейке. В качестве рабочего электрода использовали инертный молибденовый электрод, на котором электролитически выделяли РЗЭ. Для измерения равновесного потенциала использовали потенциостат/гальваностат Autolab 302N с программным обеспечением GPES 4.9. После проведения кратковременного электролиза проводили выдержку с одновременным измерением ЭДС.

На полученной хронопотенциометрической кривой выделяли горизонтальный линейный участок и рассчитывали среднее значение потенциала на этом участке. Полученные значения соответствовали равновесным потенциалам Ln(III)/Ln относительно хлорного электрода сравнения в тройной эвтектике (Li-K-Cs)Cl_{эвт.}

Значения условного стандартного потенциал РЗМ рассчитывали по формуле (2):

$$E^*_{\text{Ln(III)/Ln}} = E_{\text{Ln(III)/Ln}} - \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \ln[\text{Ln}^{3+}] \quad (2)$$

Температурные зависимости условного стандартного потенциала описываются уравнениями:

$$E^*_{\text{Gd(III)/Gd}} = -(3,42 \pm 0,01) + (5,0 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \cdot T, \text{ В (668–976K)} \quad (3)$$

$$E^*_{\text{Ho(III)/Ho}} = -(3,49 \pm 0,02) + (6,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-4} \cdot T, \text{ В (807–978K)} \quad (4)$$

$$E^*_{\text{Er(III)/Er}} = -(3,35 \pm 0,02) + (4,44 \pm 0,2) \cdot 10^{-4} \cdot T, \text{ В (751–976K)} \quad (5)$$

Полученные значения условных стандартных потенциалов РЗЭ позволяют рассчитать энергию Гиббса образования их трихлоридов из компонентов в данном расплаве по формуле (6).

$$\Delta G^*_{\text{LnCl}_3(\text{расн.})} = n \cdot F \cdot E^*_{\text{Ln(III)/Ln}} \quad (6)$$

$$\Delta G^*_{\text{GdCl}_3(\text{расн.})} = -(990 \pm 2) + (0,144 \pm 0,003) \cdot T, \text{ кДж/моль} \quad (7)$$

$$\Delta G^*_{\text{HoCl}_3(\text{расн.})} = -(1011 \pm 5) + (0,174 \pm 0,005) \cdot T, \text{ кДж/моль} \quad (8)$$

$$\Delta G^*_{\text{ErCl}_3(\text{расн.})} = -(970 \pm 5) + (0,128 \pm 0,006) \cdot T, \text{ кДж/моль} \quad (9)$$

Задачей исследований является проверка в укрупненных масштабах режимов окислительного разрушения аммония, ранее отработанных в лабораторных условиях в Радиевом институте им. В.Г. Хлопина. Суть обрабатываемого процесса заключается в окислении иона аммония азотной кислотой при повышенном давлении.

Механизм характеризуется сложным набором параллельно-сопряженных реакций, и в зависимости от исходных условий процесс может обладать значительным индукционным периодом [6].

1. Крамерс Х., Вестертерп К. Химические реакторы. Расчет и управление ими. М., Химия (1967).
2. Арис Р. Анализ процессов в химических реакторах. М., Химия (1967).
3. Дидушинский Я. Основы проектирования каталитических реакторов. М., Химия (1972).
4. Денбиг К.Г. Теория химических реакторов. М., Наука (1968).
5. Долинин Н.П. Нагревательные элементы реакционных аппаратов. М., Машиностроение (1967).
6. Звонков И.Н., Костромин К.В., Ряпосов А.В., Дёмин Д.В., Блажева И.В., Фирсин Н.Г., Хомяков А.П. Испытания бака-реактора для разрушения солей аммония на выпарном стенде СвердловНИИхиммаш. Труды СвердловНИИхиммаш, вып. 21(85) (2014).

РАВНОВЕСНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ ГАДОЛИНИЯ, ГОЛЬМИЯ И ЭРБИЯ В ЭВТЕКТИЧЕСКОМ РАСПЛАВЕ ХЛОРИДОВ ЛИТИЯ, КАЛИЯ И ЦЕЗИЯ

Митенкова Е.А.*, Саркисова А.С., Дедюхин А.С., Щетинский А.В.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: ekaterina.mitenkova@gmail.com

EQUILIBRIUM POTENTIALS OF GADOLINIUM, HOLMIUM AND ERBIUM IN LITHIUM-POTASSIUM-CESIUM CHLORIDE EUTECTIC MELT

Mitenkova E.A.*, Sarkisova A.S., Dedyukhin A.S., Shchetinskiy A.V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Formal standard electrode potentials of gadolinium, holmium and erbium were determined in (Li-K-Cs)Cl eutectic melt between 668-1013 K employing quasi-stationary potentiometric measurements. EMF was measured vs. chloride reference electrode. In addition, the enthalpy of mixing REE chlorides with the solvent melt was estimated.

Широкое использование редкоземельных элементов (РЗЭ) в различных отраслях науки и техники предполагает наличие всесторонних знаний о свойствах РЗЭ в том числе и в расплавленных средах. Например, для разработки и совер-

ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА В РЕАКТОРЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Ряпосов А.В.^{1*}, Хомяков А.П.²

¹⁾ Свердловский научно-исследовательский институт химического машиностроения, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: ryantony@mail.ru

CHEMICAL KINETICS IN HIGH PRESSURE REACTOR

Ryaposov A.V.^{1*}, Khomjakov A.P.²

¹⁾ SverdNIChimmash, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this study it is planned to research the process in the integrated scales modes for oxidizing destruction of ammonium. The aim of fulfilled process is ammonium ion oxidation by nitric acid at the elevated pressure. The experimental information is required for quantitative estimation of process, for chemical reactor calculation and management. Chemical kinetics of reactions gives the important data for definition of working reactor conditions, its sizes and design. The batch reactor was studied since it gives the wide flexibility for output chemical products.

Во всех расчетах, связанных с физическим или химическим превращением вещества, используются основные законы сохранения массы и энергии. Для количественной оценки различных проблем, связанных с расчетом химических реакторов и управления ими, необходима информация о скоростях процессов, происходящих в них [1].

Можно сказать, что протекание реакции во времени в периодическом реакторе соответствует протеканию ее в пространстве в трубчатом реакторе. Результаты, касающиеся оптимального управления периодическим реактором, являются просто интерпретацией решения задачи оптимального проектирования трубчатых реакторов [2].

Химическая кинетика реакции играет важную роль при определении условий работы реактора, его размеров и конструкции. Существенной стороной химической кинетики является нахождение кинетических уравнений, по которым определяют скорость реакции [3].

Периодический процесс дает большую гибкость в производстве большого количества продукта различного состава. [4].

В сосудах с внутренними нагревательными элементами законы теплообмена изучены далеко недостаточно (особенно в сосудах, оборудованных мешалками). Что же касается сосудов с наружными нагревательными элементами, то здесь законы теплообмена совершенно не изучены и для этой группы сосудов отсутствуют какие-то приемлемые для практического использования формулы и методы расчетов [5].

$$-\frac{dc}{d\tau} = K_1 c^{i1} + K_2 c^{i2} \quad (3)$$

Из уравнений (1) и (3) находим концентрацию целевого продукта в реакционной смеси на выходе из реактора идеального вытеснения

$$c_{1в} = \int_{c_в}^{c_н} \frac{dc}{1 + \frac{K_2}{K_1} c^{i2-i1}}$$

и избирательность процесса

$$U_в = \frac{c_{1в}}{c_н - c_в} = \frac{1}{c_н - c_в} \int_{c_в}^{c_н} \frac{dc}{1 + \frac{K_2}{K_1} c^{i2-i1}} \quad (4)$$

Для реактора полного перемешивания избирательность процесса выразится

$$U_{см} = \frac{1}{1 + \frac{K_2}{K_1} c^{i2-i1}} \quad (5)$$

Из уравнений (4) и (5) следует, что при одинаковом порядке основной и побочной реакций ($i_1=i_2$) состав продуктов на выходе из реактора не зависит от характера движения потоков и определяется лишь отношением K_2/K_1 . [1].

При решении таких задач, как моделирование процессов, протекающих на катализаторе с изменяющейся во времени активностью, ведение процесса в искусственно создаваемых нестационарных условиях, оптимальный пуск и остановка реактора, исследование устойчивости химических процессов, разработка системы автоматического управления и другие, важно знать динамические свойства разрабатываемого контактного аппарата. Для этого необходимо построить и исследовать математическую модель протекающего в реакторе нестационарного процесса [2].

1. Гильперин Н.И., Пиблак В.Л., Костянян А.Е. Структура потоков и эффективность колонных аппаратов химической промышленности. М., Химия (1977).
2. Матрос Ю. Ш., Кириллов В. А., Слинько М. Г. Моделирование химических процессов и реакторов. Т.3. Новосибирск: изд. ИК АН СССР (1972).

УСЛОВИЯ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

Ряпосов А.В.^{1*}, Хомяков А.П.²

¹⁾ Свердловский научно-исследовательский институт химического машиностроения, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: ryantony@mail.ru

INITIAL CONDITIONS FOR MATHEMATICAL MODEL OF CHEMICAL REACTOR

Ryaposov A.V.^{1*}, Khomjakov A.P.²

¹⁾ SverdNIChimmash, Yekaterinburg, Russia

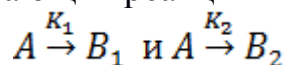
²⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Autocatalytic high pressure chemical was investigated in this study. The important factor of carrying out for successful investigations is to find a method of chemical properties determination and to divide into components difficult types of reactions: parallel and consecutive reactions. It is important to set reliable theoretical initial conditions for experiment carrying out as well as to define the chemical reactor type in accordance with conducting processes. In the theory of defined processes it is necessary to create a mathematical model.

В реакторах смешение конечных и исходных продуктов для большого числа химических реакций нежелательно, и оптимальным является режим идеального вытеснения. В секционных аппаратах обеспечивается локальное перемешивание. Это не распространяется на автокаталитические реакции, в которых целевые продукты являются инициаторами процесса [7].

К автокаталитическому типу относится наш исследуемый химический реактор высокого давления.

Для двух параллельно протекающих реакций типа



где A – исходное вещество, превращающееся в основной (целевой) продукт B_1 и побочный продукт B_2 , уравнения кинетики имеют вид:

$$\frac{dc_1}{d\tau} = K_1 c^{i1} \quad (1)$$

$$\frac{dc_2}{d\tau} = K_2 c^{i2} \quad (2)$$

Полагая, что общая скорость превращения исходного вещества (концентрация которого в реакционной смеси ко времени τ равна c) является суммой скоростей образования основного (концентрация c_1) и побочного (c_2) продуктов, можно написать:

калия на основе клиноптилолита. Период вегетации растений составлял две недели. После этого надземную часть биомассы растений срезали, измельчали, сушили при температуре 80°C в течение 5 часов, и затем измеряли гамма-бета-спектрометре МКС-АТ 1315 «Атомтех». Результаты экспериментов представлены на рис 1.

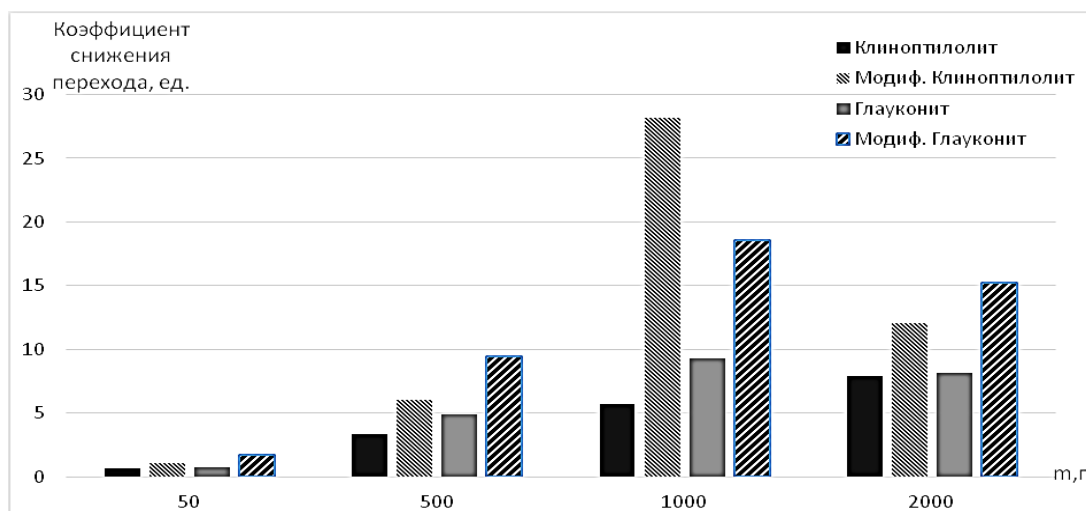


Рис. 1. Зависимость коэффициента снижения перехода цезия в овёс от вносимой массы сорбентов

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что наиболее эффективным сорбентом для снижения перехода цезия в овёс является модифицированный клиноптилолит. Оптимальное удельное содержание сорбента в растворе для гидропоники составляет 1% масс., что позволяет снизить переход цезия в растение в 28 раз.

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2013 году».
2. Ушаков С.А., Кац Я.Г. Экологическое состояние территории России: учебное пособие. М.: Академия. 2002. 128. с.
3. Санин П.Ю., Воронина А.В. Исследование влияния природных и модифицированных сорбентов на переход радионуклидов цезия в сельскохозяйственные растения / Тезисы докладов. Шестая Российская молодежная школа по радиохимии и радиохимическим технологиям. Озерск. 8-12 сентября 2014 г. Озерск: РИЦ ВБР ФГУП «ПО Маяк», 2014.162. с.

ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ СОРБЕНТОВ НА ПЕРЕХОД РАДИОНУКЛИДОВ ЦЕЗИЯ ИЗ ПОЧВЫ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ НА РАДИОАКТИВНО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Санин П.Ю.^{*}, Воронина А.В.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: alfa@uralmail.com

THE INFLUENCE OF SPECIFIC CONTENT OF SORBENTS ON CAESIUM TRANSFER FROM SOIL TO CROP PLANTS ON RADIOACTIVE CONTAMINATED LANDS

Sanin P.Yu.^{*}, Voronina A.V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The effect of the specific content of natural and modified aluminosilicate solution for the transition of caesium into agricultural plants was studied using a method of plants growing on hydroponics. It is shown that the addition of 1 wt%. mixed nickel-potassium ferrocyanide based on clinoptilolite allows reducing the transfer of caesium into an oat biomass to a factor of 28.

Согласно Государственному Докладу «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2013 году», регион характеризуется повышенной потенциальной радиационной опасностью для населения и окружающей среды [1]. На территории Свердловской области имеются значительные площади (порядка 23 тыс. км²), подвергшиеся радиоактивному загрязнению [2].

Наиболее перспективным методом для реабилитации загрязненных территорий является сорбционный метод. Согласно проведенным нами ранее исследованиям, применение модифицированных сорбентов позволяет снизить переход радионуклидов цезия из раствора в растения в период вегетации по сравнению с природными алюмосиликатами [3]. Для разработки способа реабилитации радиоактивно-загрязнённых территорий необходимо определение эффективной удельной массы сорбента, вносимого в почву. С целью изучения этой зависимости был проведен ряд экспериментов методом выращивания сельскохозяйственных растений на гидропонике с добавлением в раствор различных масс сорбентов.

Выращивание семян овса проводили на питательных растворах, содержащих смесь Кнопа. В питательный раствор вносили радионуклид ¹³⁷Cs до достижения удельной активности 10³ Бк/л и различные массы сорбентов. В качестве сорбентов использовали природные алюмосиликаты - глауконит и клиноптилолит, а также модифицированные сорбенты на их основе – смешанный ферроцианид никеля-калия на основе глауконита, смешанный ферроцианид никеля-

сплавления до 30 мин к увеличению растворения не приводит, можно говорить о насыщении литий-боратных флюсов при данных соотношениях П:Ф.

При этом обнаружено, что проба полностью растворяется только при составе флюса $\text{LiT}:\text{LiM}=1:1$, в остальных случаях с увеличением содержания LiT растворимость красного шлама падает. Однако следует отметить, что не растворившийся красный шлак во флюсе равномерно распределяется по всему объему в виде включений размером менее 10 мкм. Однородность распределения подтверждена с помощью растровой электронной микроскопии. Таким образом, даже при отсутствии полного растворения красного шлама во флюсе, можно говорить о гомогенизации пробы и исключении эффектов неоднородности, которые влияют на интенсивность флуоресценции. [3].

В результате исследования выбраны оптимальные соотношения П:Ф = 1:4 (полное растворение) и П:Ф = 1:2 (частичное растворение с высокой гомогенизацией и более высокой интенсивностью сигнала) и флюса $\text{LiT}:\text{LiM}=1:1$ для подготовки литий-боратных дисков для РФА красного шлама. При выбранных соотношениях реализуется максимально возможное разбавление и достигается наилучшее качество дисков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России рамках соглашения о предоставлении субсидии от 29.09.2014 г. № 14.581.21.0002 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».

1. Борходоев В.Я., Пенъевский С.Д., Соцкая О.Т., Аналитика и контроль, 17, 141 (2013).
2. Claisse F., Blanchette D.S., Physics and Chemistry of Borate Fusion for X-Ray Fluorescence Spectroscopists, Fernand Claisse Inc (2008).
3. Лосев Н.Ф., Смагунова А.Н., Основы рентгеноспектрального флуоресцентного анализа, Химия (1982).

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ПРОБ НА ОСНОВЕ ЛИТИЙ-БОРАТНЫХ ФЛЮСОВ ДЛЯ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА КРАСНОГО ШЛАМА

Сухоруков А.В.*, Абрамов А.В., Жиляков А.Ю.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г Екатеринбург, Россия.

*E-mail: alf93@ya.ru

CHOICE OF THE OPTIMAL COMPOSITION OF SAMPLES BASED ON LITHIUM-BORATE FLUXES FOR XRF ANALYSIS OF RED MUD

Suhorukov A.V.*, Abramov A.V., Zhilyakov A.Yu.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Sample preparation for XRF analysis of red mud was investigated. Samples were based on lithium-borax fluxes; the effect of flux composition and sample-to-flux ratio on the disk quality was studied. The optimal flux composition is a 1:1 mixture of LiBO_2 and $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, and the optimal ratio of the flux to the sample is 1:2 or 1:4.

При определении содержания компонентов в красном шламе методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) необходимые показатели точности можно получить при сплавлении порошковых проб флюсом [1]. В качестве флюса используют тетраборат лития (LiT), метаборат лития (LiM) или их смесь. Согласно [2] кислотные образцы требуют применения щелочного LiM, щелочные образцы – кислотного LiT [2].

Основой красного шлама являются оксиды Fe_2O_3 (~ 60 %), Al_2O_3 (~ 14 %), CaO (~ 10 %), SiO_2 (~ 8 %). Однозначный вывод о кислотности красного шлама сделать затруднительно. Поэтому в качестве флюса испытаны индивидуальные LiM, LiT и их смеси $\text{LiM}:\text{LiT}=1:1$, $\text{LiM}:\text{LiT}=1:4$, первоначальное соотношение пробы (П) к флюсу (Ф) задали как 1 к 7.

Диски на основе чистого LiM получаются хрупкими и растрескиваются при кристаллизации. Стеклообразные диски на основе чистого LiT демонстрируют удовлетворительную прочность. Диски на основе смесей LiT и LiM также хорошо сплавляются с красным шламом.

Далее был произведен выбор оптимального соотношения П к Ф. Для выбранных флюсов приготовлены литий-боратные диски с отношением П:Ф 1:1, 1:2, 1:3, 1:4. С помощью растровой электронной микроскопии установлено, что полное растворение пробы во флюсе достигается при соотношении П:Ф = 1:4. При П:Ф = 1:1 стеклообразные диски растрескиваются на стадии застывания, при визуальной оценке наблюдается неравномерная поверхность диска, наличие включений. Диски П:Ф = 1:2 и 1:3 формовались без растрескивания, но порошок красного шлама растворяется во флюсе не полностью. Увеличение времени

трескиванию литий-боратного диска при застывании и неудовлетворительному отделению от изложницы. Для решения данной проблемы проведены исследования влияния несмачивающих агентов на поверхностное натяжение расплавов с целью стабилизации формования дисков. В качестве несмачивающих агентов использованы переплавленные соли LiF, NaCl, KBr, KI марки ХЧ, анионы которых могут выступать в качестве поверхностно-активных веществ для литий-боратных флюсов [1, 2]. Массу вводимых солей варьировали от 0,15 до 0,25 г при массе диска 10 г и диаметре 40 мм.

Установлено, что эффективность действия несмачивающих агентов в рассматриваемых системах увеличивается от фтора к йоду, наблюдается корреляция эффективности с радиусом галогенид-ионов. Использование фторида лития оказалось крайне неэффективным – диск при застывании растрескивается и плохо отделяется от изложницы, увеличение количества соли в расплаве к заметным улучшениям не приводит.

Наиболее эффективным несмачивающим агентом оказался иодид калия; при его использовании плав легко отделяется от подложки, стеклянный диск не имеет видимых дефектов, а верхняя поверхность диска плоская. Однако иодид-ионы имеют много собственных спектральных линий, которые существенно затрудняют анализ состава многокомпонентного красного шлама. Кроме того, при использовании иодида и бромидка калия наблюдается выделение паров брома и йода. Использование бромидка калия также оказалось достаточно эффективным, однако верхняя поверхность дисков вогнута (глубина мениска не более 1 мм), а сама соль обладает гигроскопичностью.

В итоге, при подготовке литий-боратных дисков для РФА красного шлама в качестве несмачивающего агента выбран хлорид натрия (0,15 г). Данная соль обеспечивает хорошее отделение плава от изложницы, хлор при сплавлении не выделяется, соль не гигроскопична, а спектральные линии хлора и натрия не мешают определению состава пробы. Получаемые при этом диски имеют вогнутую верхнюю поверхность (глубина мениска не более 3 мм), однако анализ с помощью растровой электронной микроскопии подтвердил однородность состава пробы по всему диаметру дисков.

Также проведен анализ формы верхней поверхности диска в зависимости от количества вводимого несмачивающего агента. Уменьшения кривизны верхней поверхности диска при увеличении массы хлорида натрия в расплаве от 0,15 до 0,25 г не обнаружено.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России рамках соглашения о предоставлении субсидии от 29.09.2014 г. № 14.581.21.0002 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».

1. Claisse F., Blanchette D.S., Physics and Chemistry of Borate Fusion for X-Ray Fluorescence Spectroscopists, Fernand Claisse Inc. (2008).
2. Борходоев В.Я., Пенъевский С.Д., Соцкая О.Т., Аналитика и контроль, 17, 141 (2013).

Степень осаждения урана из ТБФ также увеличивается с ростом температуры в диапазоне 20-60°C и времени выдержки фаз. При этом в последнем случае, уран осаждается не только в форме уранилгидразиний фторида, но и в виде $UF_4 \cdot 2,5H_2O$. Это происходит за счет протекания процессов восстановления урана гидразином в присутствии плавиковой кислоты.

Полученный в ходе исследований уранилгидразиний фторид был прокален в токе водорода при 450°C. По данным рентгенофазового анализа в результате термического разрушения данного продукта образуется UF_4 . Оценка физико-химических характеристик полученного тетрафторида урана показала, что массовая доля урана в UF_4 составляет 76%, суммарная доля UO_2F_2 и UO_2 не превышает 4%. Средний диаметр частиц тетрафторида урана – 20-25 мкм, плотность утряски – 2,7 г/см³. По содержанию примесных элементов UF_4 является продуктом высокой степени чистоты и может использоваться для производства UF_6 , соответствующего ASTM C787-11.

Таким образом, применение растворов HF с добавлением гидразина на стадии рекстракции способствует сокращению числа операций переработки урана.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕСМАЧИВАЮЩИХ АГЕНТОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ЛИТИЙ-БОРАТНЫХ ДИСКОВ ДЛЯ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА КРАСНОГО ШЛАМА

Сухоруков А.В.^{*}, Абрамов А.В.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г Екатеринбург, Россия.

*E-mail: alf93@ya.ru

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF NON-WETTING AGENTS FOR PREPARATION OF LITHIUM-BORATE GLASS BEADS FOR XRF ANALYSIS OF RED MUD

Suhorukov A.V.^{*}, Abramov. A.V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The effect of non-wetting agents on the efficiency of preparation of the lithium-borax glass beads for XRF analysis of red mud was studied. LiF, NaCl, KBr, KI were tested as non-wetting agents. It was found that NaCl is the most effective non-wetting agent.

Для успешной реализации технологии переработки красного шлама необходимо разработать методику его элементного анализа. В качестве метода анализа предложен рентгенофлуоресцентный анализ (РФА). Для достижения максимальной гомогенизации проб предложено использовать сплавление красного шлама с литий-боратными флюсами. Однако при такой пробоподготовке расплав достаточно хорошо смачивает изложницу из платины, что приводит к рас-

На сегодняшний день задача получения материала ядерной чистоты в ходе переработки уранового сырья решается за счет комбинирования двух или более методов аффинажа. Наиболее распространенной комбинацией в технологических схемах является сочетание экстракционного и фторидного аффинажа урана. В этом случае конечным продуктом является тетрафторид урана, который затем используется для производства гексафторида урана. Основным недостатком данных методов аффинажа является многостадийность процессов получения тетрафторида урана.

Сокращение числа операций переработки урана может быть достигнуто за счет получения фтористых соединений урана непосредственно на стадии реэкстракции из органической фазы. Поэтому были проведены исследования процесса реэкстракции урана из трибутилфосфата (ТБФ) растворами плавиковой кислоты с добавлением гидразина.

В качестве экстрагента в работе был использован 30%-ый ТБФ в керосине ShellSol D90. Экстракцию вели из растворов с содержанием $100 \text{ г/дм}^3 \text{ U(VI)}$ и $100 \text{ г/дм}^3 \text{ HNO}_3$, приготовленных путем растворения технического полиураната аммония в азотной кислоте. Насыщенная органическая фаза после экстракции и промывки содержала $80\text{--}100 \text{ г/дм}^3 \text{ U(VI)}$ и $10\text{--}20 \text{ г/дм}^3 \text{ HNO}_3$.

По данным экспериментов использование растворов плавиковой кислоты на стадии реэкстракции приводит к извлечению урана из ТБФ в водную фазу. Степень извлечения урана увеличивается с ростом содержания HF в исходном растворе. Введение гидразина в реэкстрагирующий раствор приводит к осаждению урана из органической фазы в виде уранилгидразиний фторида. При этом концентрация HF должна быть не менее 4 моль/дм^3 . Степень осаждения урана из ТБФ возрастает с увеличением мольного соотношения $\text{N}_2\text{H}_4/\text{U}$ в диапазоне 1–3. Дальнейший рост содержания гидразина в реэкстрагирующем растворе из-за образования растворимых комплексов сопровождается снижением степени осаждения урана.

Влияние содержания гидразина в реэкстрагирующем растворе ($6 \text{ моль/дм}^3 \text{ HF}$) на распределение урана между фазами при реэкстракции из ТБФ

Мольное соотношение $\text{N}_2\text{H}_4/\text{U}$	Распределение урана при реэкстракции, %		
	Органическая фаза	Водная фаза	Осадок
0,3	0,5	99,5	-
1,0	0,5	48,7	50,8
1,5	0,4	14,8	84,8
2,0	0,2	13,3	86,5
2,5	0,1	9,1	90,8
3,0	0,1	6,1	93,8
3,5	0,1	8,6	91,3
4,5	0,1	12,3	87,6
6,0	0,1	99,9	-

выбросов, характеристики населения, проживающего вблизи предприятия ЯТЦ и многое другое.

Важным параметром для расчета дозы является определение дисперсности выбрасываемых в атмосферу аэрозолей техногенных радионуклидов. Данный вопрос в современной литературе слабо освещен, поскольку данные по дисперсному составу представляют собой сложность в представительном отборе проб и качественной интерпретации полученных данных.

В настоящей работе представлены основные результаты экспериментов по определению дисперсности аэрозолей техногенных радионуклидов. Для этого была использована трехступенчатая диффузионная батарея экранного типа, разработанная в радиационной лаборатории Института промышленной экологии УрО РАН. Для оценки дисперсности аэрозолей были использованы улавливающие элементы в виде стальных и латунных сеток с шириной раскрытия от 40 мкм до 100 мкм, и позволяющие уловить аэрозоли с модами от 1 до 50 нм. Предварительные данные показали, что не менее 25% радиоактивных аэрозолей, выбрасываемых реакторной установкой ИВВ-2М имеют размер в диапазоне 0-100 нм.

Результаты этой работы будут использованы в дальнейшем для корректировки расчетов распространения, разбавления и истощения струи атмосферных выбросов и оценки ожидаемой дозовой нагрузки на критическую группу населения в результате деятельности АО «ИРМ».

ЭКСТРАКЦИОННЫЙ АФФИНАЖ УРАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРАЗИНА

Титова С.М., Скрипченко С.Ю.^{*}, Грачева М.П., Горцунова К.Р., Смирнов А.Л.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

^{*}E-mail: uran233@mail.ru

URANIUM REFINING USING HYDRAZINE

Titova S.M., Skripchenko S.Yu.^{*}, Gracheva M.P., Gortsunova K.R., Smirnov A.L.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The uranium stripping from TBP by HF solutions with addition of hydrazine was investigated. The use of HF and N₂H₄ mixture results in uranium precipitation from TBP as hydrazine uranyl fluoride complex. The uranium precipitation increased with increasing N₂H₄/U molar ratio and holding time. The uranium tetrafluoride was obtained by thermal decomposition of hydrazine uranyl fluoride complex in hydrogen stream. The obtained UF₄ meets all requirements imposed to product at conversion plants.

дельных достаточно длинных его участках в условиях значительных наклонов (до 50 градусов) характеризуется как постоянное, если на этих участках имеет место стабильное кипение; при этом наблюдаются высокие значения теплопередающей способности термосифона.

ОЦЕНКА ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ВЫБРАСЫВАЕМЫХ РАДИОНУКЛИДОВ С ИВВ-2М АО «ИНСТИТУТ РЕАКТОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

Васянович М.Е.^{1,2*}, Екидин А.А.^{1,2}, Рогозина М.А.^{1,2}, Русских И.М.³

¹⁾ Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

³⁾ АО «Институт реакторных материалов», г. Заречный, Россия

*E-mail: vasyanovich_maks@mail.ru

ASSESSMENT OF DISPERSIVE RADIONUCLIDES COMPOSITION IN AIRBORNE DISCHARGE FROM IVV-2M OF "INSTITUTE OF NUCLEAR MATERIALS"

Vasyanovich M.E.^{1,2*}, Ekin A.A.^{1,2}, Rogozina M.A.^{1,2}, Russkih I.M.³

¹⁾ Institute of industrial ecology UB RAS, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

³⁾ Joint stock company "Institute of Nuclear Materials" Zarechny, Russia

The main results of aerosol dispersion determination of anthropogenic radionuclides released are presented in this work. Three-stage screen type diffusion battery developed in the Radiation Laboratory of the Institute of Industrial Ecology (Ural Branch of the Russian Academy of Sciences) was used in this experiment.

Деятельность предприятий ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) всегда создает дополнительную дозовую нагрузку на человека и окружающую среду. Такое воздействие представляет собой контролируемое поступление техногенных радионуклидов в окружающую среду. Дозовая квота, включает облучения от поступления радионуклидов от сбросов, выбросов, образования радиоактивных отходов. Отсутствие превышения установленных квот облучения от газоаэрозольных выбросов реакторных установок, достигается путём определения годового количества выбрасываемых радионуклидов, не превышающего уровень приемлемого риска для населения, проживающего в данном районе. Расчет дозовой нагрузки включает в себя анализ и использование таких параметров как: данные метеонаблюдений за длительный период, ландшафтные особенности района расположения предприятия ЯТЦ, основные характеристики источника

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ ЗАПРАВКИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ КОНТУРНОГО ТЕРМОСИФОНА

Владыкин Р.Г.^{*}, Гадельшин М.Ш., Долгирев Ю.Е.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: rrroman1994@gmail.com

A STUDY OF INFLUENCE OF THE HEAT TRANSFER FLUID VOLUME ON LOOP THERMOSYPHON EFFICIENCY

Vladykin R.G.^{*}, Gadelshin M.Sh., Dolgirev Yu.E.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Annotation. The influence of the heat transfer fluid volume on loop thermosyphon efficiency has been studied using infrared camera. The study has been carried out by considering of different spatial positions.

С использованием тепловизора исследовано влияние объема заправленного теплоносителя на работу контурного термосифона при различных его ориентациях в пространстве. Испаритель термосифона выполнен в виде цилиндрического канала диаметром 9 мм и длиной 243 мм и предназначен в основном для работы в горизонтальном положении. В реальных условиях могут иметь место значительные изменения положения испарителя от горизонтального. В исследовании подвод тепла осуществляется посредством организации электрического тока по корпусу термосифона в зоне испарения. Такой метод подвода тепла обеспечивает постоянство подводимой на единицу площади испарителя тепловой мощности, определяемой по измерениям тока и напряжения.

Показано, что количество заправленного теплоносителя влияет на функционирование термосифона различным образом. Во-первых, это прекращение поступления теплоносителя к удаленным крайним участкам испарителя, что особенно проявляется при малой заправке в условиях значительного увеличения высоты этих участков (при значительных наклонах около 50 градусов). Во-вторых, это ухудшение эффективности работы конденсатора при избыточном количестве заправки, приводящем при определенных ориентациях к значительному уменьшению поверхности конденсации в конденсаторе, что в конечном итоге существенно уменьшает коэффициент теплопередачи от нагревателя к телу сброса тепла, в нашем случае – к радиатору.

Выявлено, что направление циркуляции теплоносителя не является однозначно заданной в соответствии с конструкцией контурного термосифона, а зависит от ориентации последнего в пространстве, главным образом от изменения положения испарителя от горизонтального и от расположения конденсатора над испарителем.

Анализ измерений показал, что может быть подобран такой уровень заправки, при котором распределение температуры по длине испарителя или на от-

ляется сорбционный метод. Решить вопросы сохранения и восстановления природной среды, очистки больших объемов радиоактивно загрязненных вод можно только на основе использования доступных, дешевых и эффективных сорбентов. Проводимые в последние годы исследования свидетельствуют о большом внимании, уделяемом использованию природных материалов, в качестве сорбентов для удаления радионуклидов из водных сред различной природы. Такие сорбенты могут быть получены на основе природных алюмосиликатов. Сорбционные характеристики природных алюмосиликатов могут быть улучшены путем их модифицирования.

В работе были проведены исследования сорбционных свойств природных и модифицированных глауконита и клиноптилолита по отношению к радионуклидам цезия и стронция.

Результаты исследования (табл. 1) показали, что наибольшей специфичностью к цезию обладает модифицированный глауконит, однако его емкость ниже, чем у модифицированного клиноптилолита. Модифицирование клиноптилолита фазой ферроцианида не изменяет его специфичности к цезию, но приводит к повышению его сорбционной емкости. Наибольшей специфичностью к стронцию обладают природный и модифицированный клиноптилолит. При поверхностном модифицировании клиноптилолита происходит также увеличение его сорбционной емкости по стронцию.

Таблица 1. Обобщенные результаты исследования сорбционных свойств

Радионуклид	Сорбент	Масса сорбента/время контакта	Область Генри, мг/л	$\lg K_d \pm \Delta K_d$, мл/г	СОЕ, мг/г
Cs	Природный глауконит	20 мг, 1 неделя	до 1	$3,4 \pm 1,7$	15,6
	НКФ-глауконит	20 мг, 1 неделя	до 1	$5,1 \pm 1,1$	204
	Природный клиноптилолит	20 мг, 1 неделя	до 10	$3,7 \pm 0,6$	306
	НКФ-клиноптилолит	20 мг, 1 неделя	до 10	$4,0 \pm 0,6$	524
Sr	Природный глауконит	200 мг, 2 недели	до 100	$1,6 \pm 0,3$	21
	НКФ-глауконит	50 мг, 2 недели	до 1000	$1,7 \pm 0,2$	37
	Природный клиноптилолит	50 мг, 2 недели	до 10	$3,4 \pm 0,4$	63
	НКФ-клиноптилолит	20 мг, 2 недели	до 10	$3,9 \pm 0,4$	560

за сорбционным поведением урана по его альфа-излучению. Измерение активности проб раствора после высушивания при достаточно малой толщине и равномерности полученного источника так же позволяет контролировать одновременно сорбционное поведение тория и урана, однако в этом случае всегда остается неопределенность, наблюдаем ли мы поглощение радионуклидов сорбентом, или поверхностью вмещающей посуды. Для снятия отмеченной неопределенности в дополнение к методам радиометрии привлечены методы гамма-спектрометрии.

Полученные экспериментальные данные по сорбции тория и урана сопоставлены с литературными данными по соосаждению тория и урана с гидратированными оксидами титана, циркония и марганца. Области величин pH, в которых происходит сорбция и соосаждение тория и урана гидратированными оксидами в целом совпадают, если используются свежеприготовленные растворы радионуклидов. Отмечено, что макроколичества урана в значительной степени подавляют сорбцию микроколичеств тория, что говорит о наличии конкуренции между торием и ураном за сорбционные центры. Дана интерпретация отмеченных фактов с позиций возможных механизмов сорбции и форм состояния тория и урана в водных растворах с данной величиной pH.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГЛАУКОНИТА И КЛИНОПТИЛОЛИТА

Куляева И.О.^{*}, Воронина А.В.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: kio_kms7003@mail.ru

STUDY OF THE SORPTION PROPERTIES OF NATURAL AND MODIFIED GLAUCONITE AND CLINOPTILOLITE

Kulyaeva I.O.^{*}, Voronina A.V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The specificity and capacity of natural and modified by mixed nickel-potassium ferrocyanide (NPF) glauconite and clinoptilolite with respect to cesium and strontium radionuclides were studied. It was shown that the NPF-glauconite has higher cesium distribution coefficient and lower capacity than NPF-clinoptilolite. Natural and modified clinoptilolites have the highest specificity for strontium; strontium distribution coefficients are comparable within the error limits for both sorbents. Surface modifying of the clinoptilolite by the ferrocyanide phase leads to increase its capacity to strontium.

Одним из перспективных методов переработки жидких радиоактивных отходов, очистки питьевой воды от радионуклидов и реабилитации водоемов, яв-

СОРБЦИЯ ТОРИЯ И УРАНА НЕОРГАНИЧЕСКИМИ ГИДРАТИРОВАННЫМИ ОКСИДАМИ ТИТАНА И МАРГАНЦА

Бетенеков Н.Д., Мирсаиди Саидзода, Ягупов А.И.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: ndbetenkov@urfu.ru

THE STUDY OF THORIUM AND URANIUM SORPTION BY INORGANIC HYDRATED TITANIUM AND MANGANESE OXIDES

Betenekov N.D., Mirsaidi Saidzoda, Yagupov A.I.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

The report presents the results of a study of thorium and uranium sorption by inorganic hydrated titanium and manganese oxides from aqueous solutions with various pH values and uranium concentrations.

Для контроля за процессом сорбции тория использовали радионуклид ^{234}Th . Выделение ^{234}Th проводили из растворов нитрата уранила, выдержанных в течение времени, необходимого для достижения радиоактивного равновесия между ^{238}U и ^{234}Th . Выделение ^{234}Th проводили путем сорбционного концентрирования в динамических условиях на неорганическом сорбенте марки Т-5 на основе гидратированного оксида титана, последующей промывки сорбента водой и десорбции сначала урана, затем тория растворами соляной кислоты различных концентраций. Коэффициенты концентрирования тория и очистки его от урана за одну стадию составили не менее 10^3 . В некоторых случаях для разделения урана и тория использовали катионит КУ-2. Полученный концентрат ^{234}Th использовали в качестве метки для изучения сорбционного поведения тория в процессах концентрирования из водных растворов с различным содержанием и кислотностью в статических и динамических условиях.

В исследованиях сорбции тория гидратированными оксидами титана и марганца из водных растворов использовали производимые ЗАО НПФ «Термоксид» (г. Заречный) сорбенты марок Т-5 с температурой термообработки 100°C и 450°C . Для получения сорбентов на основе оксида марганца использовали в качестве носителей сорбент марки Т-5 сферической грануляции с размером гранул 0,2-0,5 мм или 0,4-1,0 мм, делигнифицированную целлюлозу в форме гранул с размером 0,2-0,5 мм, а также пластины триацетат-целлюлозы (ТАЦ). Нанесение оксида марганца на поверхности перечисленных носителей достигали путем осуществления окислительно-восстановительной реакции из слабых кислотных растворов перманганата. Использование тонкослойного сорбента марки MnO_2 -ТАЦ в экспериментах оказалось очень удобным, так как позволяло проводить измерение активности непосредственно сорбента и одновременно наблюдать за сорбционным поведением как тория по его бета-излучению, так и

СЕКЦИЯ 3

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

$P_1 = P_2$ и $T_1 > T_2$ открыть отверстие в перегородке, то за счет разности тепловых скоростей $v_{t1} > v_{t2}$ ($v_t = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$) возникает числовой поток в объем V_2 , где давление P_2 возрастает с одновременным уменьшением P_1 . Разность давлений вызывает обратно направленный поток частиц, который в стационарном состоянии уравнивается потоком теплового скольжения [1].

В данной работе используется метод обратного луча. Известно, что в отсутствии межчастичных столкновений, внешних сил и в стационарном режиме уравнение Больцмана сводится к виду $v \frac{\partial f}{\partial r} = 0$. Для заданной абсолютной скорости v производная $\frac{\partial f}{\partial r} = 0$, т.е. $f(v)$ постоянна вдоль направления v и определяется параметрами и видом $f(v)$ в местах старта частицы. В соответствии с кинетическим определением получены уравнения для n , P , T и макроскопической скорости u в любой точке r потока. Алгоритм решения этих уравнений состоит в переходе от интегрирования в декартовом пространстве безразмерных скоростей к интегрированию в цилиндрической системе координат по модулю скорости и углу в полярной системе. Далее осуществляется переход к полярной системе координат физического пространства, ограниченного площадью отверстия или площадью стенок объемов V_1 и V_2 . В точке $M_2(z, \rho)$, расположенной в объеме V_2 на расстоянии ρ от оси симметрии z , могут оказаться частицы газа одного из трех типов:

1. Частицы,двигающиеся с левой стенки ($L_1 \rightarrow -\infty$) с равновесными n_{10} и T_{10} и прошедшие через отверстие в перегородке;
2. Частицы,двигающиеся с правой стенки ($L_2 \rightarrow +\infty$) с равновесными n_{20} и T_{20} ;
3. Частицы,двигающиеся с перегородки с температурой $\bar{T} = \frac{T_{10} + T_{20}}{2}$.

Проведена отладка программы вычисления этих параметров и получены первые тестовые результаты, удовлетворительно совпадающие с имеющимися данными [2].

1. Коган М.Н., Динамика разреженного газа (кинетическая теория), Наука (1976).
2. Саксаганский Г.Л., Молекулярные потоки в сложных вакуумных структурах, Атомиздат (1980).

«хищник-жертва» демонстрирует критическое поведение. В частности, рассмотрены связанные автоколебания на основе системы дифференциальных уравнений типа Розенцвейга-Макартура [1]. Показано, что критическое поведение возникает в случае связанных автоколебаний при стремлении к нулю действительной части числа Ляпунова.

Дилемма Заключенного для связанных систем моделируется на основе эволюционной теории игр. Показано, что критическое поведение связанных систем наблюдается на границе «Дилеммы Заключенного».

1. Dercole F., Ferrière R. et al., Coevolution of slow-fast populations: evolutionary sliding, evolutionary pseudo-equilibria and complex Red Queen dynamics, Proceedings of the Royal Society 273, 983–990 (2006).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОГО ПОТОКА В ИДЕАЛЬНОМ ОТВЕРСТИИ. МЕТОД ОБРАТНОГО ЛУЧА

Мандиева Н.Г. *, Кузнецов М.А., Породнов Б.Т.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: mandieva-natalya@mail.ru

GAS FLOW PARAMETERS DISTRIBUTION IN IDEAL APERTURE. RAY TRACING METHOD

Mandieva N.G. *, Kuznetsov M.A., Porodnov B.T.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Ray tracing method used to calculate parameters and velocities in the Knudsen flow through a perfect round hole. It is assumed that in the steady state volume of wall emit particles with the equilibrium Maxwellian distribution function with different numerical density and temperature.

Определение параметров газового потока, возникающего под действием эффекта термомолекулярной разности давлений в свободномолекулярном и промежуточном режимах является актуальной задачей. Её решение может найти прямое практическое применение при разработке систем охлаждения микропроцессоров, проектировании тепловых труб, а также в микроэлектромеханических системах (MEMS-технологии).

Рассмотрим систему, состоящую из плоской перегородки с отверстием радиуса R_0 , которая разделяет два объема газа V_1 и V_2 . Слева от перегородки газ характеризуется параметрами (T_1, P_1, n_1) , справа – (T_2, P_2, n_2) . Если при $t = 0$,

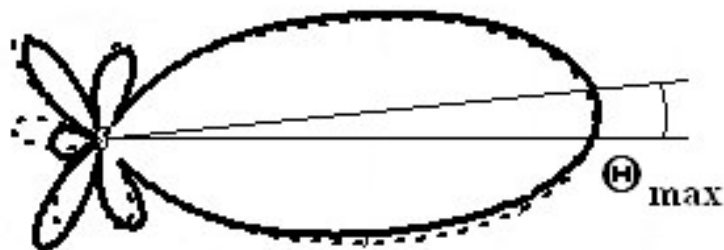


Рис. 1. Диаграммы рассеяния для вращающегося цилиндра, при $tv=0.02$.
(—) – результат предсказания; (---) – результат симулирования.

Как видно из рис. 1, главный и боковые лепестки диаграммы практически полностью совпали, однако отраженная волна существенно отличается. Этот факт накладывает определенные ограничения на диапазон достоверности алгоритма предсказания. В представленном случае среднеквадратичное отклонение амплитуды результирующих функций составляет ≈ 0.009 , что является прямой оценкой точности предсказания.

1. De Zutter D., Scattering by a rotating circular cylinder with finite conductivity, IEEE Transactions on antennas and propagation, vol. AP-31(1983).
2. Петров Б.М., Прикладная электродинамика вращающихся тел, Горячая линия - Телеком (2009).

АВТОКОЛЕБАНИЯ В СВЯЗАННЫХ СИСТЕМАХ ТИПА «КРАСНОЙ КОРОЛЕВЫ»

Бокуняева А.О., Мелких А.В.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: alexsandra@list.ru

Взаимодействие хищников и жертв обычно описывается на языке дифференциальных уравнений. При определенных параметрах хищника и жертвы решением такой системы уравнений являются автоколебания. Такие автоколебания представляют собой эффект Красной Королевы, который заключается в том, что эволюционное равновесие отсутствует, но вместо этого эволюция какого-либо вида продолжается бесконечно.

С другой стороны взаимодействие между двумя видами, включающее кооперацию между ними моделируется так же на основе биматричных игр. Одной из наиболее известных игр, описывающих кооперативное поведение, является игра «Дилемма Заключенного».

Показано, что моделирование системы на основе дифференциальных уравнений и на основе теории игр в пределе большого числа связанных систем типа

Предсказание поведения математической модели, часто преследует цель экономии времени, особенно в контексте длительного моделирования. Используя предложенный алгоритм, возможно с определенной степенью точности предсказать изменение результатов моделирования, относительно эталонной системы.

Математическая модель симулирует рассеяние плоской электромагнитной волны от вращающегося слабопроводящего круглого, однородного цилиндра, ориентированного перпендикулярно к волновому вектору падающей волны, и бесконечному по этой оси [1]. Эталонной системой является система с неподвижным цилиндром, при прочих равных параметрах. Цель предсказания – указать качественно и количественно влияние вращения цилиндра на его диаграмму рассеяния (ДР).

При высоких угловых скоростях (Ω), угол ориентации максимума главного лепестка диаграммы рассеяния (θ_{\max}), смещается в противоположную сторону, относительно направления вращения. При увеличении Ω , растут потери ЭМ мощности в среде, связанные с поверхностным током, как следствие уменьшается рассеянная амплитуда. Коэффициент соотносимости по скорости задается в форме (a – радиус цилиндра; V_{ϕ} – фазовая скорость распространения падающей волны):

$$\tau v = \frac{\Omega a}{V_{\phi}} \quad (1)$$

Алгоритм предсказания (эталонная ДР априорна известна):

1. Получение функций изменения вида ДР: $\theta_{\max}(\tau v)$ и $\langle E \rangle(\tau v)$ ($\langle E \rangle$ – средняя рассеянная мощность электрического поля).
2. Установление границ линейного участка функций.
3. Нахождение аналитического уравнения прямой, соответствующей, линейному участку функции.
4. Решение уравнений, относительно θ_{\max} и $\langle E \rangle$ для τv .
5. Корректировка эталонной ДР, с учетом найденных величин.

На рисунке 1 показаны ДР для вращающегося цилиндра, полученные симулированием системы и предсказанием по указанному алгоритму. Эталонная система представлена следующим образом: нормированная к единице амплитуда падающей плоской волны, с частотой 2ГГц, распространяется в вакууме. Для цилиндра: $a=0.1\text{м}$, $\epsilon r=4$, $\mu r=1$, $\sigma=0.012\text{См/м}$.

Рассчитанные функции изменения ДР (в квадратных скобках указаны границы линейной области для τv):

$$\begin{aligned} \Theta_{\max}(\tau v) &= 135.636\tau v + 0.881; [0.0055 \div 0.023] \\ \langle E \rangle(\tau v) &= -1.041\tau v + 1.003; [0.003 \div 0.027] \end{aligned} \quad (2)$$

Корректировка эталонной ДР производится геометрическим образом, и не требует особых временных и вычислительных ресурсов.

Для решения данной задачи на кафедре АСиВИЭ УрФУ был разработан 16-ти каналный автоматизированный измерительный комплекс, который состоит из аналого-цифрового преобразователя совместимого с персональным компьютером, мультиплексора и датчиков температуры. Система позволяет в автоматическом режиме производить замеры температуры с одновременным формированием массива данных в памяти компьютера.

Стандарт файла данных позволяет использовать результаты в расчётах Excel. Для этого достаточно скопировать данные из текстового файла в лист Excel.

Данный автоматизированный цифровой измерительный комплекс не заменим при решении широкого спектра задач, в которых требуется одновременное получение и фиксация большого массива данных. От существующих отечественных и зарубежных аналогов его выгодно отличает сравнительно низкая себестоимость, поэтому он может найти широкое применение и будет востребован.

1. Матвеев А. В., Пахалуев В. М., Щеклеин С. Е. Анализ работы солнечного коллектора в условиях естественной циркуляции теплоносителя // Перспективные энергетические технологии. Экология. Экономика, безопасность и подготовка кадров. Сборник научных трудов, Екатеринбург, 2006. 115-120 с.
2. Матвеев А. В., Щеклеин С. Е. Особенности использования солнечного коллектора в уральской климатической зоне // Перспективные энергетические технологии. Экология. Экономика, безопасность и подготовка кадров. Сборник научных трудов, Екатеринбург, 2006. 150-153 с.

ПРЕДСКАЗАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭМ ДИФРАКЦИИ, В СИСТЕМАХ С ВРАЩАЮЩИМСЯ РАССЕИВАТЕЛЕМ

Зейде К.М.^{1*}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: k.m.zeyde@urfu.ru

MODELING RESULTS PREDICTION OF EM DIFFRACTION IN PRESENCE OF ROTATING SCATTERER

Zeyde K.M.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this work describes the prediction method based on correlating coefficients of computational experiment of electromagnetic scattering on rotating cylinder. Using this method instead of simulating significantly reduces the time of obtaining the desired results. The method was tested statistically on the created mathematical model of a physical system.

В задачах проведения исследований теплофизических характеристик энергетического оборудования, характеризующегося нестационарностью протекающих процессов и значительной пространственной распределенностью возникает необходимость синхронного определения большого числа исследуемых характеристик, изменяющихся в широком частотном диапазоне. Данная проблема возникла в ходе изучения рабочих характеристик термосифонного теплообменника системы аварийного отвода тепла от бассейна выдержки отработанного ядерного топлива. Во время проведения эксперимента требуется производить измерения температуры одновременно в нескольких местах по всей длине контура исследуемого объекта. А именно, на восходящем и нисходящем потоке паров этанола, равными около 7 метров каждый. Возникает задача точного определения передаваемой мощности от изотермического источника тепла к системе охлаждения. Использование методов нагрева с помощью организации конвекции либо электрического обогрева приводит к существенной неравномерности температуры стенки по длине обогреваемого участка и не обеспечивает требуемых условий изотермичности зоны нагрева [1].

В настоящей работе приводится описание системы обогрева на основе парового регулируемого нагрева рабочего участка термосифона. Общая схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

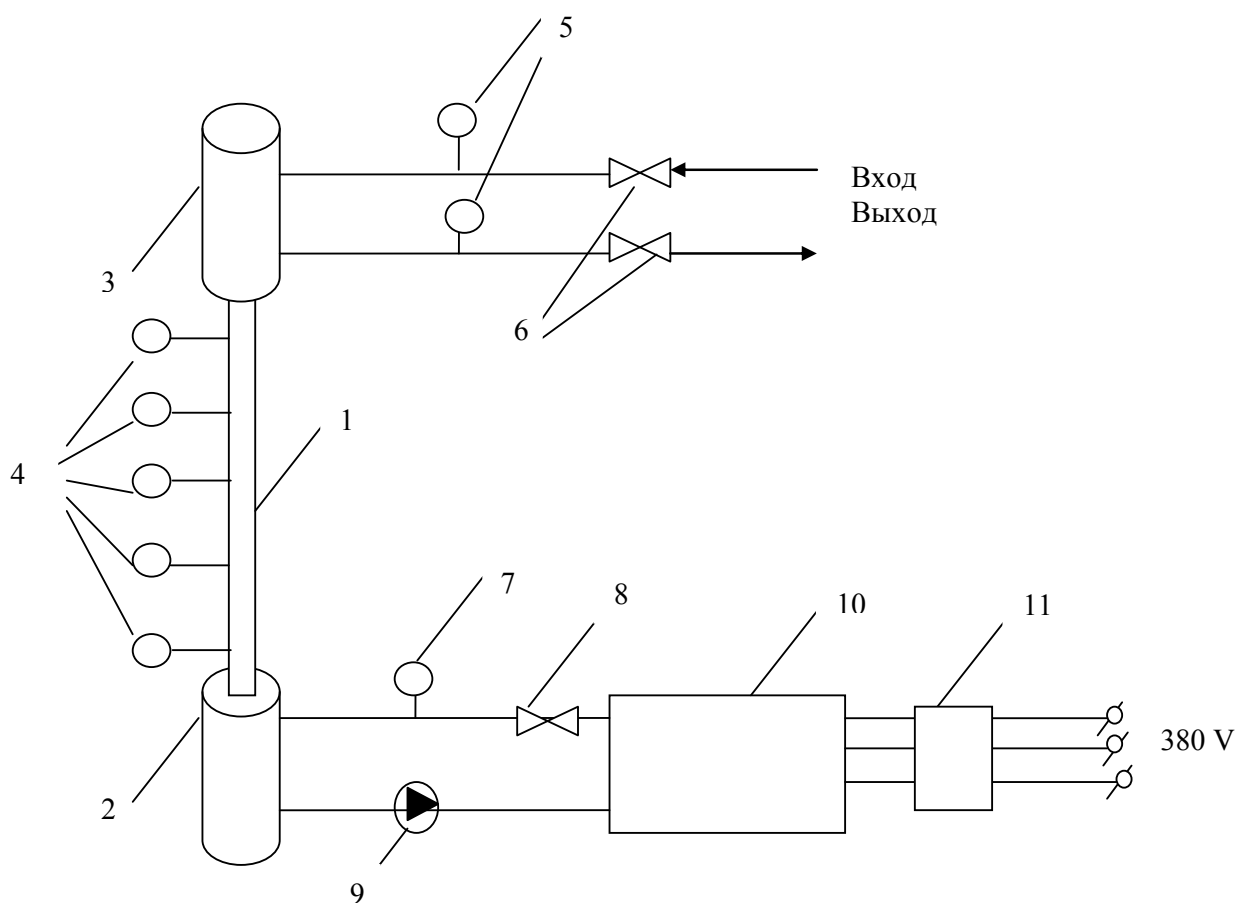


Рис.1 Общая схема экспериментальной установки. 1-термосифон, 2- камера нагрева, 3- камера охлаждения, 4,5- датчики температуры, 6, 8- регулирующие вентили, 7- манометр, 9- насос, 10- парогенератор, 11- электросчетчик

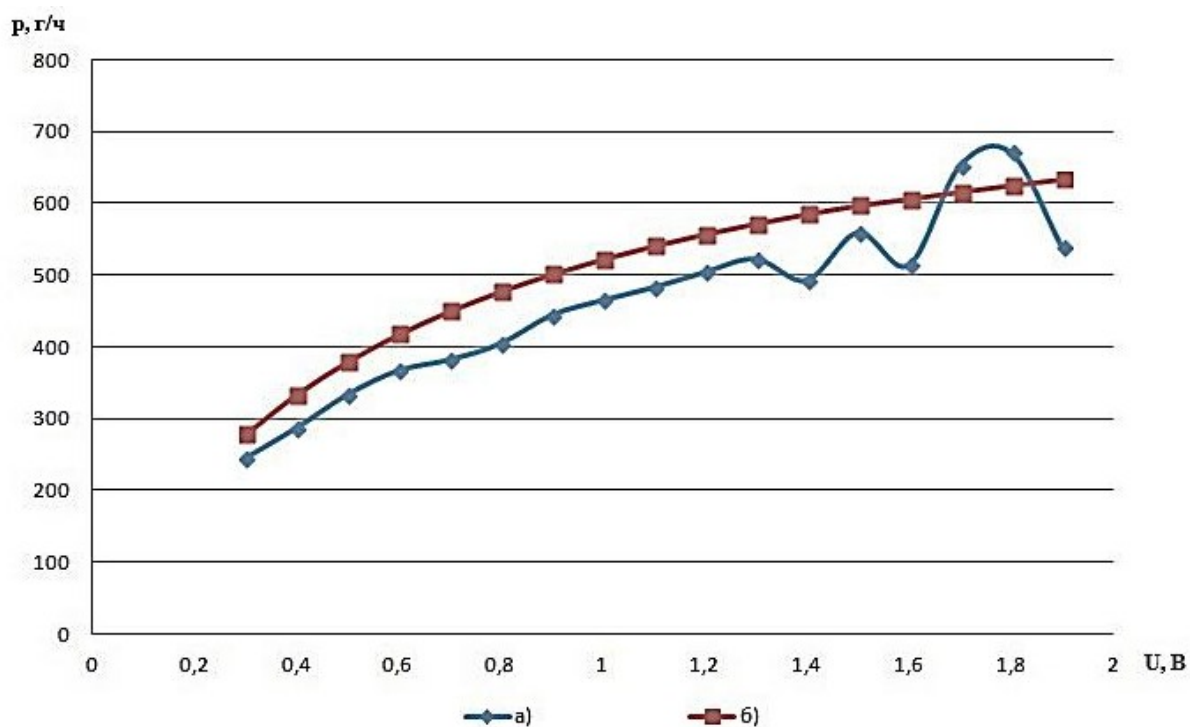


Рис. 1. зависимость расчетной производительности от напряжения а) при учете поляризации б) без учета поляризации

1. Г.Б. Смирнов, А.А. Фокин, С.Э. Маркина, А.И. Вахитов. Оптимизация процесса роста катодного осадка в электролизере – рафинере коаксиальной симметрии методом имитационного моделирования; Журнал «Расплавы» №5, сентябрь-октябрь 2014, 78-83 с.

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ, ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ В ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Жуков А.В.^{*}, Стариков Е.В., Щеклеин С.Е.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: ale772009@yandex.ru

FAST SPATIALLY DISTRIBUTED REGISTRATION SYSTEM PARAMETERS IN THERMOPHYSICAL

Zhukov A.V.^{*}, Starikov E.V., Shcheklein S.E.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

модели Эренфестов, так и для модели Клейна не выявило расхождений и противоречий.

На основе вышеописанных моделей планируется рассчитать энтропии Гиббса и Больцмана, а также проверить различные положения неравновесной физики (принцип максимальности производства энтропии, флуктуационная теорема и другие).

1. Кац М., Вероятность и смежные вопросы в физике, Мир (1965).
2. Klein M., Physic Review, 103, 17 (1956).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИФФУЗИОННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ КАТОДА В РАФИНЕРЕ КОАКСИАЛЬНОЙ СИММЕТРИИ

Вахитов А.И.^{*}, Смирнов Г.Б., Фокин А.А.

УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: anton-vakhitov@yandex.ru

CATHODE DIFFUSION POLARIZATION INFLUENCE MODELING IN COAXIAL SYMMETRY REFINER

Vahitov A.I.^{*}, Smirnov G.B. Fokin A.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The authors represent results of research of diffusion polarization influence on cathode sediment growth on the example of metal refining process in coaxial symmetry electrolyzer.

В ранее разработанном алгоритме моделирования роста катодного осадка в электролизере коаксиальной симметрии не было учтено возможное влияние диффузионной поляризации на процесс осаждения металла[1].

В настоящей работе проведено исследование влияние диффузионной поляризации на модельный процесс роста катодного осадка. Для расчета поляризации были использованы усредненные параметры коэффициента диффузии $D=2 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$ и толщины диффузионного слоя $\delta=2 \cdot 10^{-3} \text{ см}$. Эти параметры дали возможность рассчитать некую гипотетическую поляризационную кривую, которая позволила принципиально оценить степень влияния поляризации на результаты моделирования. Критерием оценки влияния поляризации является показатель вычислительной производительности.

В результате моделирования было получена зависимость расчетной производительности от напряжения при учете поляризации и без учета поляризации (рис. 1). Из графика видно, что производительность при учете поляризации меньше чем без ее учета. В среднем расхождение $\Delta p=48,3 \text{ г/ч}$ (10%).

МОДЕЛЬ ЭРЕНФЕСТОВ КАК ОСНОВА ДЛЯ ПРОВЕРКИ СОВРЕМЕННЫХ ГИПОТЕЗ НЕРАВНОВЕСНОЙ ФИЗИКИ

Жерноклеев Г.А.^{*}, Мартюшев Л.М.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: glebster47@mail.ru

THE EHRENFEST URN MODEL AS A BASIS FOR VERIFICATION OF MODERN HYPOTHESES OF NONEQUILIBRIUM PHYSICS

Zhernokleev G.A.^{*}, Martyushev L.M.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The Ehrenfest urn model has attracted considerable attention both for its heuristic value in statistical mechanics and for its mathematical interest as a simple Markoff process. It appears to be simple for checking various statements of nonequilibrium physics.

В 1907 г. П. и Т. Эренфестами была предложена простая модель, призванная прояснить некоторые проблемы, возникшие в результате дискуссии Больцмана, Пуанкаре и ряда других ученых [1]. Модель в первоначальном ее виде можно описать так: $2R$ шаров, занумерованных от 1 до $2R$, раскладывают по двум ящикам A и B . Затем «случайно» выбирается целое число между 1 и $2R$, и шар с этим номером перекладывают из коробки, где он лежит, в другую. Эта процедура затем повторяется много раз. Модель позволяла описывать релаксацию изолированной системы к равновесию и рассчитывать ряд термодинамических характеристик, в частности, энтропию. К достоинствам данной модели можно отнести ее простоту и возможность точного аналитического решения [1].

Позднее модель Эренфестов была расширена М. Клейном [2]. В ней для выбранного шара с номером от 1 до $2R$ подбрасывалась монета α (если шар выбран из ящика A). Выпадение «орла» с вероятностью p или «решки» с вероятностью q определяло перемещение шара в B или сохранение шара в A соответственно. Аналогичные вероятности p' и q' монеты β можно ввести и для шара, взятого из B . Такая модель позволяет описать физическую систему в неравновесном стационарном состоянии.

Обе модели были реализованы в математическом пакете Maple в двух вариантах. В первом - в виде игровой модели (симуляции) по правилам, описанным выше, при этом выбор случайного шара осуществляется с помощью генератора псевдослучайных чисел «вихрь Мерсенна» (Mersenne twister). Во втором варианте реализован прямой метод расчета по аналитической формуле, полученной М. Кацем для вероятности нахождения $(R+m)$ шаров в одном из ящиков за s шагов (перекладываний), если в начальный момент в этом ящике было $(R+n)$ шаров. Сравнение результатов двух подходов (аналитического и игрового) как для

руемых входных параметрах: скорость жертвы и хищника, радиус захвата хищника, степень точности зрения хищника и жертвы).

Все действия со стороны объектов игры являются для них ресурсозатратными. В качестве универсального ресурса возьмём энергию объекта. Каждый объект системы, обладает каким-то начальным базовым запасом энергии, часть которой тратит при совершении каждого действия (движение, изменение радиуса захвата и степени точности зрения). [1]

Было проведено 16200 экспериментов (16200 циклов работы программы) для 162 вариантов сочетаний 5 входных параметров (для четырёх параметров рассмотрено три возможных варианта значения; для одного - два).

При анализе результатов проведенных экспериментов можно отметить:

- Хищник побеждает с вероятностью 100% в 86 случаях. С вероятностью выше 90% - в 28 случаях. Отчасти, это обусловлено тем, что жертве достаточно «дорого» (с точки зрения ресурсов) обходится возможность иметь зрение.
- В 11 случаях одновременного могут погибнуть оба организма. Это возможно, когда начальные запасы энергии одинаковы у обоих организмов. Они имеют место тогда, когда начальные запасы энергии полностью расходуются обоими организмами за одинаковое количество шагов программы, и хищник далеко не всегда успевает поймать жертву за отведенное запасом энергии организмов количество шагов программы.
- В случаях 5 случаях жертва и хищник гибнут одновременно от голода. Жертва, видя хищника, убегает от него до тех пор, пока энергии обоих организмов не исчерпаются. Это отчасти обусловлено реализацией граничных условия в программной среде.
- Случаев, когда жертва имеет зрение – 81. Победу с большой долей вероятности она одерживает только в 21 из них. Т.е. жертве, в целом, выгодно иметь зрение, однако его цена (с энергетической точки зрения) достаточно высока и может привести к гибели организма типа «жертва» от голода.

1. Зафиров Е.А., Мелких А.В. Двадцать вторая международная конференция «Математика. Компьютер. Образование» Тезисы. Выпуск 22, 41 (2014)

Реализация предложенного подхода выполняется в рамках открытого проекта Yet Another RussNet [1]. Работа поддержана грантом РГНФ № 13-04-12020 «Новый открытый электронный тезаурус русского языка».

1. Braslavski P., Ustalov D., Mukhin M. Proc. of EACL 2014 (Demo Track), 101 (2014).
2. Wang A., Hoang C.D.V., Kan M.Y. Language Resources and Evaluation, 47(1), 9 (2013).
3. Daltayanni M., de Alfaro L., Papadimitriou P. Proc. of WSDM'15, 263 (2015).

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМНОГО ПОВЕДЕНИЯ ХИЩНИКА И ЖЕРТВЫ НА РАННИХ СТАДИЯХ ЭВОЛЮЦИИ

Зафиров Е.А.^{1*}, Мелких А.В.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: e.a.zafirov@urfu.ru

SOME RESULTS OF COMPUTER SIMULATION OF MUTUAL BEHAVIOR OF PREDATORS AND PREY ON EARLY STAGES OF EVOLUTION

Zafirov E.A.^{1*}, Melkikh A.V.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

This article describes some results of the experiments conducted to determine the optimal strategy of behavior of the victim and of the predator in the early stages of evolution, obtained by computer simulation in a specially created software environment, which has specific conditions. The results obtained by the experiments, differing from each other by various input parameters characterizing the behavior of both types of organisms.

Появление хищников и жертв имело место еще на ранних стадиях эволюции, однако условия, при которых становится выгодно активное преследование жертвы остаются во многом неясными. При помощи компьютерного моделирования планируется сделать выводы о причинах появления такой дифференциации организмов, принципах их взаимного поведения и приобретения тех или иных функций в ходе эволюции.

На основе разработанной программной среды (разработана на платформе Microsoft .NET Framework 3.5 в среде Microsoft Visual C# 2010 Express Edition на языке C#), получившей рабочее название «Погоня» были проведены эксперименты по изучению взаимного поведения «хищника» и «жертвы» (далее термины употребляются без кавычек): визуализация и моделирование, на основе теории игр, процессов преследования хищником жертвы при различных вари-

uate the effort of each participant and to focus the crowdsourcing process. We discuss the representation of crowdsourcing as a human-computer system with feedback and propose a reference model of such a system.

Словарь Мерриама-Вебстера определяет понятие краудсорсинга как способ получения требуемых услуг, идей и информационных ресурсов путём соучастия большого количества людей преимущественно из сетевых сообществ вместо традиционных форм трудоустройства или снабжения.

За последние годы краудсорсинг стал популярным подходом к решению таких задач, как сбор, разметка и очистка структурированных и неструктурированных данных. Решение таких задач происходит путём генерации множества относительно несложных и проверяемых заданий, решение которых осуществляется большим количеством заинтересованных участников либо безвозмездно, либо на платной основе.

Краудсорсинг хорошо зарекомендовал себя в области компьютерной лингвистики, что подтверждается успехом в России таких проектов, как «Викисловарь», «OpenCorpora», «NLPub» [1]. Классификации жанров краудсорсинга посвящено большое количество различных исследований, и в настоящее время существует достаточно простая, и при этом универсальная таксономия, выделяющая три жанра [2]: 1) «игры с целью», 2) «автоматизированный труд», и 3) «мудрость толпы».

В жанрах «игры с целью» и «автоматизированный труд» доступные материалы и финансовые ресурсы строго ограничены, поэтому необходима количественная оценка качества работы каждого участника [3], а также управление процессом краудсорсинга при помощи обратной связи.

На рис. 1 представлена эталонная модель краудсорсинга как человеко-машинной системы с обратной связью. Блок «Выдача заданий» оценивает $p(u|A)$ — вероятность успешного выполнения задания A участником u . Блок «Приём решения» регистрирует полученное от участника решение $R(A|u)$ и направляет эти сведения для дальнейшей обработки. Блок «Обобщение результатов» определяет и сохраняет итоги выполнения задания, а также генерирует обратную связь в виде оценки качества выполнения задания каждым участником $q(A|u)$ и оценки общей сложности задания $q(A)$.

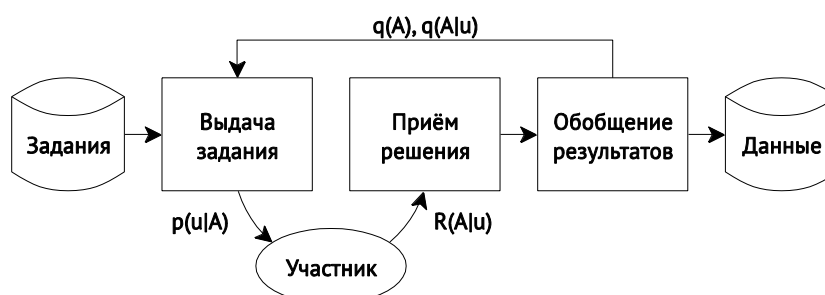


Рис. 1. Краудсорсинг как человеко-машинная система с обратной связью.

Все представленные пакеты находятся в закрытом доступе и обладают высокой стоимостью. Поэтому было принято решение разрабатывать собственную оригинальную систему.

Была предложена архитектура, включающая в себя три основных модуля:

1. База знаний ТРИЗ. Содержит все основные принципы, стандартные решения, матрицу противоречий и т.д...
2. Рабочее пространство пользователя, хранящее информацию о текущем проекте.
3. Модуль-подсказчик для принятия решений.

В дальнейшей работе планируется создание пакета моделей, проектирование и реализация системы поддержки решения изобретательских задач, основная цель которой – обеспечение максимально возможной концентрации всех необходимых знаний для того, чтобы решать сложные задачи проектирования.

1. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука, Советское радио, 1979.
2. Альтшуллер, Г.С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач, Наука, 1991
3. TriSolver, электронный ресурс: <http://www.trisolver.eu>.
4. GB TRIZ Professional, электронный ресурс: <http://www.gbtriz.com/ru/GBCr.htm>
5. Goldfire Innovator, электронный ресурс: <https://www.ihs.com/products/design-standards-software-goldfire.html>
6. Innovation Workbench, электронный ресурс: <http://www.ideationtriz.com/new/iwb.asp>.

КРАУДСОРСИНГ КАК ЧЕЛОВЕКО-МАШИННАЯ СИСТЕМА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Усталов Д.А.^{1,2*}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: dmitry.ustalov@urfu.ru

CROWDSOURCING AS A HUMAN-COMPUTER SYSTEM WITH FEEDBACK

Ustalov D.A.^{1,2*}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ IMM UB RAS, Yekaterinburg, Russia

Crowdsourcing is an established approach for such problems as data gathering, annotation, cleaning, etc. Given a set of simple and verifiable tasks, many participants execute them voluntarily or on a paid basis. Since the resources are constrained, it is crucial to eval-

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ: ОБЗОР, АНАЛОГИ И ПРЕДЛАГАЕМАЯ СТРУКТУРА

Вздорнов В.А.^{1*}, Попко Е.А.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: vavzdornov@gmail.com

SYSTEM FOR SUPPORT OF INVENTIVE PROBLEM SOLVING: REVIEW, ANALOGS AND THE PROPOSED STRUCTURE

Vzdornov V.A.^{1*}, Popko E.A.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Annotation. The article provides an overview of software solutions to support solving research problems. Four analogs were analyzed and evaluated in review. An original architecture for the system is proposed.

В современном мире большое внимание уделяется разработке инновационных технологий и продуктов. При этом изобретательская деятельность имеет дело с функционально-морфологическими представлениями и не всегда может руководствоваться естественнонаучными моделями, налагающими ограничения на создаваемую систему.

Изобретательская задача – задача, отличная от технических, инженерных, конструкторских тем, что в ходе ее решения необходимо разрешить некоторое противоречие (административное, техническое или физическое) [1]. Для работы с подобными проблемами используется теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) - область знаний, исследующая механизмы развития технических систем с целью создания практических методов решения изобретательских задач [2].

Целью настоящей работы являлась разработка программного пакета поддержки решения изобретательских задач.

На первом этапе был выполнен обзор аналогов, в рамках которого рассмотрены существующие программные решения в области ТРИЗ, представленные в таблице.

Сравнение аналогов

ПО	Стоимость	Наличие описания программной архитектуры
TriSolver [3]	неизв.	нет
GB TRIZ Professional [4]	872 \$	нет
Goldfire Innovator [5]	неизв.	нет
Innovation Workbench [6]	4000 \$	нет

Форма анода существенно влияет на рост катодного осадка. Поэтому при нахождении оптимальной формы катода, следует учитывать, какой формы будет анод.

В данном случае рассмотрели три формы растворимого анода в электролизере коаксиальной симметрии: анод на дне ванны, анод находится только по краям ванны, сочетание первого и второго случая. Для изучения влияния формы анода было проведено имитационное моделирование, целью которого было поиск оптимальной формы катода при разных формах анода. Алгоритм моделирования нами получен ранее[1]. При проведении эксперимента использовалась тонкостенный катод без дна.

Итоги проведения моделирования приведены в таблице. Где h , d_1 , d_2 – это высота катода, верхний и нижний диаметры катода соответственно, p – расчетная производительность аппарата.

Результаты поиска оптимальных размеров катодной матрицы методом имитационного моделирования

№	тип анода	h , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	p , г/ч
1	по краям	166	124	108	446,7731
2	на дне ванны	156	128	104	292,9069
3	оба случая	166	124	104	433,3935

Из таблицы видно, что наибольшей производительностью обладает случай, когда анод находится только по краям ванны. Результаты эксперимента в том случае, когда анод находится только на дне ванны оказались самыми низкими из-за того, что при использовании тонкостенного катода без дна рост осадка преимущественно происходит внизу катода и происходит замыкание на анод, а в 1 и 3 случаях окончание процесса определяется размером выгрузочного отверстия. Оптимальные размеры катодной матрицы оказались различными.

1. Г.Б. Смирнов, А.А. Фокин, С.Э. Маркина, А.И. Вахитов. Оптимизация процесса роста катодного осадка в электролизере – рафинере коаксиальной симметрии методом имитационного моделирования; Журнал «Расплавы» №5, сентябрь-октябрь 2014, с. 78–83.

сии, обсуждать научные гипотезы, делиться своими результатами, текстами и алгоритмами.

В системе могут регистрироваться издательства и организаторы научных мероприятий. Это сделает отправку статей в печать проще и быстрее. Издательства могут публиковать в системе свои требования к оформлению в виде шаблонов, которые могут применяться для автоматического форматирования статьи.

Инструмент поиска материалов позволит находить не только статьи на основании библиографических данных, как это делают множество существующих систем (Scopus, Web of Science и др), но и организовать поиск по библиотеке методов. В библиотеке можно публиковать как описание метода, так и его программную реализацию, которая может быть напрямую использована в научной работе.

Также в системе предусмотрен поиск сообществ, издательств, научных мероприятий и различных исследовательских направлений.

Блок реализации методов позволяет создавать собственные программные реализации методов, добавлять к ним описание и публиковать их. При написании метода могут использоваться различные языки программирования. Пользователи могут сами создавать новые модули к системе для поддержки новых языков. Специализированное API системы позволит использовать в качестве модуля сторонние программы и разработки, предусматривающие такую возможность. Авторами была разработана архитектура такой системы. В настоящий момент ведется разработка прототипа.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ АНОДА В РАФИНЕРЕ КОАКСИАЛЬНОЙ СИММЕТРИИ НА РОСТ КАТОДНОГО ОСАДКА МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Вахитов А.И.^{*}, Смирнов Г.Б., Фокин А.А.

УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

^{*}E-mail: anton-vakhitov@yandex.ru

RESEARCH OF ANODE FORM INFLUENCE ON CATHODE SEDIMENT GROWTH IN COAXIAL SYMMETRY REFINER USING IMITATION MODELING METHOD

Vahitov A.I.^{*}, Smirnov G.B. Fokin A.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

This article represents results of cathode sediment growth modeling in coaxial symmetry electrolyzer in different forms of cathode and anode matrix. During modeling the authors were solving the problem of cathode matrix form optimization in accordance with performance of the device.

1. Рыжов В.А., Обзор технологии поиска новой информации, МГУ им. М.В. Ломоносова (2008).
2. <http://www.uniq-themes.ru/articles/vertikalniie-poisk.html>

СИСТЕМА КОЛЛЕКТИВНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Улитко В.А.^{*}, Кузнецов М.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: maxbsp@mail.ru

SYSTEM OF SHARED SCIENTIFIC RESEARCHES

Ulitko V.A.^{*}, Kuznetshov M.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In the article the system of shared scientific research functionality was reported.

Неотъемлемой частью деятельности современного учёного являются следующие этапы: обзор литературы, применение разработанных ранее методов и результатов вычислений в своей работе, создание новых методов, оформление и публикация научных статей. На сегодняшний день каждый из этих этапов нуждается в оптимизации.

Целью данной работы является разработка централизованной системы, которая позволит организовать повседневную работу исследователя, автоматизировать ведение математических расчётов, эффективно использовать наработки других авторов и публиковать не только свои идеи, но и программные реализации методов.

Функциональные возможности системы можно представить в виде четырех блоков, приведенных ниже.

Научный редактор представляет собой инструмент для работы с научно-техническими текстами, которые можно набирать как вручную, так и загружать из источников данных. Источниками данных могут служить как свои работы, сохраненные в системе, так и результаты других авторов, полученные с помощью встроенной системы поиска.

Ключевой особенностью редактора является возможность проводить символьные манипуляции с введенными выражениями. При этом можно использовать встроенные возможности системы (например, математические операции дифференцирования, интегрирования, и др.), находить решения в магазине макросов, а также создавать свои собственные.

Научные сообщества. Данный блок позволит объединить группу ученых для работы над совместным проектом. В сообществе можно проводить дискус-

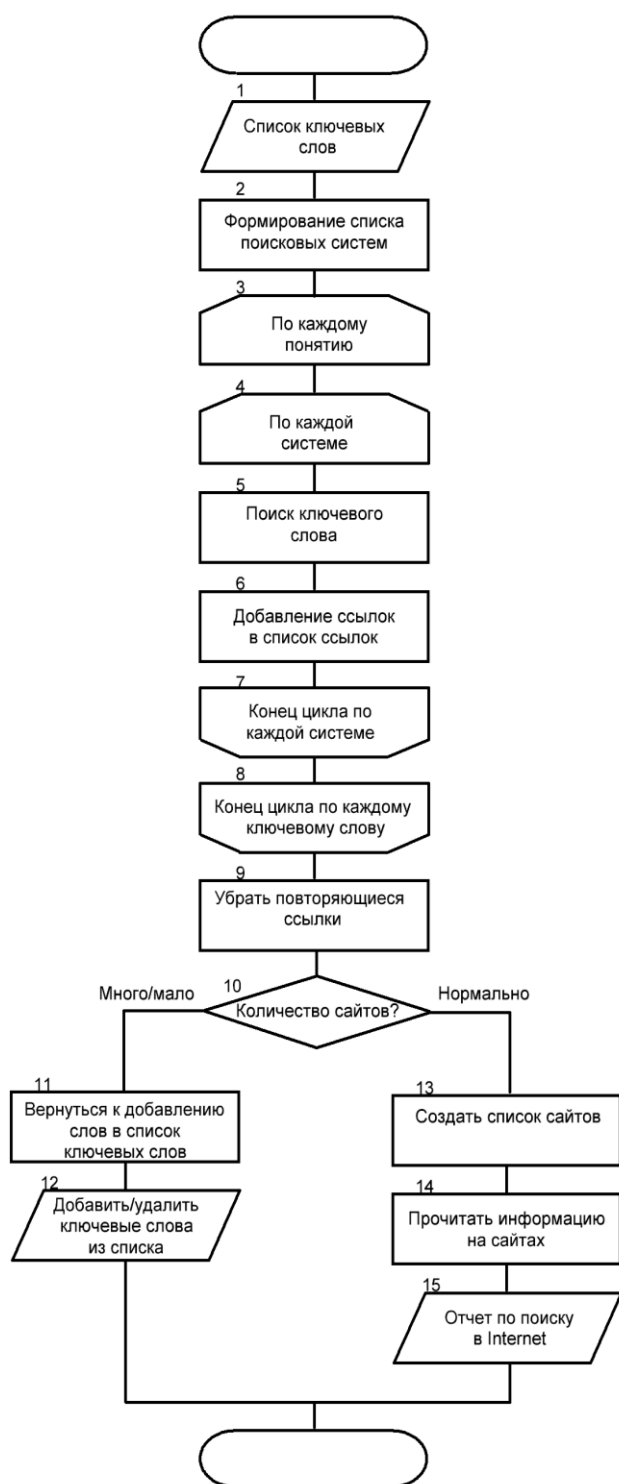


Рис. 1. Алгоритмическая модель вертикального поиска информации в сети интернет.

Таким образом вертикальный поиск медицинской информации позволяет специалисту быстро получить качественную информацию для спасения жизни больного.

тизирован и существует большой выбор поисковых машин [1]. Но данный способ не позволяет осуществить глубокий поиск именно по нужной тематике, в частности по медицинской. От быстроты и качества полученной медицинской информации не редко зависит жизнь и здоровье человека.

Поэтому в настоящее время активно разрабатываются системы вертикального поиска. Такие системы существуют в тех сферах, где пользователю необходимо быстро и качественно фильтровать имеющуюся информацию. Вертикальный поиск может рассматриваться в качестве альтернативы поиску традиционному, в тех случаях, когда нужен не ответ на конкретный вопрос, а подборка информации по теме. Вертикальный поиск в идеале должен предоставить максимально разнообразную, релевантную и точную выдачу, и никакой традиционный поисковик (на сегодняшний день) решить задачу на таком уровне не может.

Специфика вертикального поиска медицинской информации заключается в том, что в терминологии существует большое количество синонимов одного и того же термина (разные специалисты могут называть по разному один и тот же термин). В связи с этим необходима система, которая бы быстро обрабатывала запрос от любого специалиста и выводила бы точную информацию.

На рис. 1 представлена алгоритмическая модель вертикального поиска медицинской информации.

наблюдается наиболее интенсивное взаимодействие атмосферного аэрозоля и излучения. На верхней границе атмосферы АРФ определяется по искажению восходящих (уходящих) потоков радиации. Около поверхности, на нижней границе атмосферы оцениваются возмущения нисходящих потоков радиации.

Установлено, что определяющее влияние на АРФ имеют следующие параметры аэрозоля: аэрозольная оптическая толща, альbedo однократного рассеяния, альbedo подстилающей поверхности, индикатриса рассеяния.

Предлагаемая нелинейная полуэмпирическая модель оценки АРФ основана на приближенных аналитических решениях простой задачи “рассеяния – поглощения” излучения в тонком аэрозольном слое атмосферы. Проведено сравнение с линейными статистическими однофакторными и многофакторными моделями. Коэффициенты детерминации нелинейной многофакторной модели равны 0.87 и 0.92 на нижней и верхней границе атмосферы соответственно, что существенно выше, чем в известных использовавшихся ранее, однофакторных линейных моделях. Основным достоинством нелинейной полуэмпирической модели является физическая корректность в предельном случае чистой атмосферы.

Работа выполнена при поддержке проекта «Моделирование процессов переноса атмосферного аэрозоля» вузовско-академических грантов, направленных на поддержку фундаментальных и поисковых научных исследований, выполняемых в рамках соглашения о сотрудничестве УрФУ и УрО РАН.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКА МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

Тузова Т.С.^{*}, Соловьева С.Н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: t13101991@rambler.ru

THE MODELING OF THE TECHNOLOGY OF MEDICAL INFORMATION SEARCH IN THE INTERNET

Tuzova T.S.^{*}, Solovyeva S.N.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

During the research work the strengths and weaknesses of the horizontal and vertical search information were analyzed, the algorithmic model of vertical search information has been developed.

В настоящее время очень широко распространен горизонтальный поиск информации, используя поисковые машины, так как этот метод полностью автома-

In the development and implementation of the project EP must learn and use international experience, which will certainly not prevent effective solutions.

1. The President I.A.Karimov issued a Decree № УП-3080 directing further actions for the development of computerization and the use of Information and Communications Technologies (http://lex.uz/Pages/GetAct.aspx?lact_id=152472, 30 May 2012).
2. The President I.A.Karimov directed in its Decree № ПП-1730 (http://lex.uz/Pages/GetAct.aspx?lact_id=1986811, 21 March 2012).
3. Global E-Government, Center for Public Policy, Brown University(2013).
4. Hospers J. The Literature of Ethics in the 20th Century // <http://olldownload.libertyfund.org/Texts/LiteratureOfLiberty0352/BibliographicEssays/Hospers20thCEthics.pdf> (2007)

ОЦЕНКА АЭРОЗОЛЬНОГО РАДИАЦИОННОГО ФОРСИНГА АТМОСФЕРЫ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ МОНИТОРИНГА «AERONET»

Ципуштанова Т.В.¹, Лужецкая А.П.², Поддубный В.А.²

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

EVALUATION OF AEROSOL RADIATION FORCING OF THE ATMOSPHERE OF MIDDLE URALS ACCORDING TO THE MEASUREMENT DATA OF GLOBAL MONITORING NETWORK «AERONET»

Tsipushtanova T.V.¹, Luzhetskaya A.P.², Poddubny V.A.²

¹)Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²)Institute of Industrial Ecology, UB of RAS, Yekaterinburg, Russia

The article is devoted to linear and nonlinear statistical semi-empirical models for estimating aerosol radiation forcing (ARF). On the basis of the results of measurements of radiative and microphysical characteristics of aerosol the values of empirical coefficients are found. The article gives the results of comparison between linear single-factor models and multifactor models.

Разработаны несколько линейных и нелинейных статистических полуэмпирических моделей для оценки аэрозольного радиационного форсинга (АРФ) - возмущения баланса потоков радиации в атмосфере. На основе анализа результатов измерений радиационных и микрофизических характеристик аэрозоля, полученных на Среднем Урале (в окрестности Екатеринбурга) по программе глобального сетевого мониторинга AERONET, найдены значения эмпирических коэффициентов, входящих в модели. При расчете АРФ учитывался только коротковолновый диапазон спектра солнечного излучения (0,2-4 мкм), в котором

of public authorities, as well as their obligations to citizens and businesses. The system architecture reflects the main communication offered by state and local authorities of services with application architectural components to support these services by means of ICT application level. It contains standards and guidelines development of information systems of state and local authorities to ensure the implementation of government functions, as well as the basic components and elements of the EG to be used centrally or repeatedly by many agencies: the EG portal, certification authority the National Identification System.

Technical architecture reflects the possibility of basic information and communication technology as a means of interaction applied component system architecture together with the data sources and users of information systems. This architecture includes the standards and guidelines for use in the state of hardware, software, communications, technology standards and protocols, as well as descriptions of the methodology and data standardization state information systems and standard for metadata.

Architecture productivity (efficiency) EG and its components is a system of indicators and common metrics to estimate the values of performance, effectiveness and efficiency of EG components across verticals - from separate information systems and business processes to the main results of operations and their strategic impact (consequences).

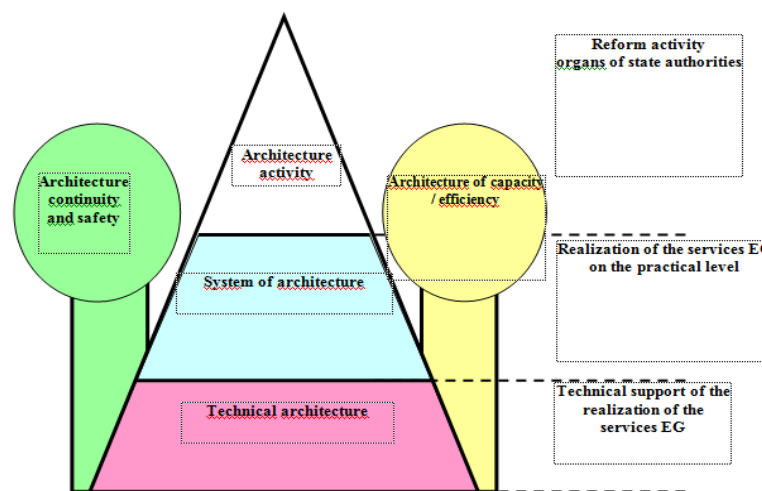


Fig.1. Single architecture of Electron Government

In order to achieve some success in the implementation of this concept is necessary, first of all to reform the entire structure of the state of information management and information technology by taking the following steps:

- Making the task of e-government as a national priority;
- Concentrating the maximum authority to implement the policy of e-government, both at the central and regional levels;
- Establish a system for the distribution of responsibilities;
- Making the policies and practices on e-government transparency and accountability;
- Lead to uniformity (unify) the policies and practices of e-government.

1. I got a backup team of deputies.
2. Giving conclusions and findings for deputies of Oliy Majlis improving a new law about e-government.
3. Taking part in "My place in Parliament".
4. Creating methodical instructions on subject "Organization networks of electron government".

Implementation of EG initiatives will be ensured through the use of structured, systematic approach to the planning and implementation of these initiatives, based on the development and implementation of a unified architecture EG

Single architecture EG (hereinafter SA) is a structure that reflects the relationship between all elements of EG and should allow to identify and organize existing in various ministries and departments need to use ICT, opportunities to reduce the existing redundancy, and identify areas in which they have homogeneous requests for ICT investments.

Single architecture EG, as a reference model processes and governance structures, represents a methodological framework implemented ICT projects and activities. This is intended to provide an SA:

- support for the correctness of the objectives of individual projects,
- project coordination with each other,
- evaluation of the effectiveness of individual projects,
- optimize the use of resources by eliminating the duplication of work,
- investing in promising technologies and compatible systems.

The key role of the SA clearly seen on the example of inter-agency projects, where SA acts as a single "frame", which is used as a set of criteria for evaluating projects and as one of the required regulatory and methodological tools for selection, implementation and monitoring of the effectiveness of projects.

SA is a holistic view of the fact that the state and the individual departments are doing how they work and ICT provide the necessary support for this. Without such a systematic approach implementation of e-government initiatives will inevitably be fraught with many problems and inefficiencies.

The overall structure of the SA consists of three architectural layers related requirements meet the needs of:

- architecture activities;
- system architecture;
- technical architecture,

as well as two "through" architectural components that have their reflection in each of the previous three layers:

- architecture business continuity and security;
- architecture performance (efficiency).

The core of the architecture should be based on activity model for describing the activities of state and local authorities in terms of the functions and processes of the implementation of these functions. This model should describe the mutual obligations

1. H.Fujita, X.Zhang, S.Kido, T.Hara, X.Zhou, Y.Hatanaka, and R.Xu: An introduction and survey of computer-aided detection/diagnosis, Proc. of 2010 International Conference on Future Computer, Control and Communication (FCCC 2010) - International Forum on Computer Science-Technology and Applications (IFCSTA 2010) -, 2, 200-205, (2010).
2. Tao, C. Automated Matching Of Pulmonary Nodules: Evaluation In Serial Screening Chest Ct / C. Tao [et al.] // Am. J. Roentgenol. 2009. Vol. 192, № 3. P. 624– 628.
3. Спринджук М. В. и др. Компьютер-ассистированная диагностика узловых образований в легких. ОИПИ НАН Беларуси, № 2/2010.

E-GOVERNMENT AND SINGLE ARCHITECTURE OF E-GOVERNMENT

Nurjabova D^{1*}. Shukurova M. ^{2*}

¹⁾ TUIT Karshi branch, Karshi, Uzbekistan

²⁾ TUIT Karshi branch, Karshi, Uzbekistan

*E-mail: dilnuradil@umail.uz

Open government is the governing doctrine which holds that citizens have the right to access the documents and proceedings of the government to allow for effective public oversight. In its broadest construction it opposes reason of state and other considerations, which have tended to legitimize extensive state secrecy. The origins of open government arguments can be dated to the time of the European Enlightenment: to debates about the proper construction of a then nascent democratic society.

Openness and transparency of governance are needed not only to enhance the respect and trust in the government, but also to ensure sustainable functioning as a system of government and the political system as a whole. Openness and transparency of governance - is the institutional basis of the feedback mechanisms, permanent relationships and interactions of society and government and accountability of society. In a democratic state dependence and accountability of public authorities to civil society carried out primarily by the main political chain, which includes: a multi-party system, providing political and ideological structuring of civil society in the form of autonomous political associations of citizens - political parties; polling mechanism, which based on a multiparty system , provides regular free and fair election of the representatives of all the people in the public authorities and above all, to the Parliament; Parliament as a national representative body to express the will of the people in government and play a key role in the system of public authorities in the framework of the principle of separation. Parliament and the members of the faction "Information technology" involved the adoption of new laws on electronic states, and policy-makers are coming forward all the trained personnel and organizations themselves also hakims of the cities and regions. There have been organized the distance courses in the Republic and regions. There are also being developing a software for electronic government and make up some tasks for myself:



Рис. 1. Системно-структурная модель прототипа нулевого ранга

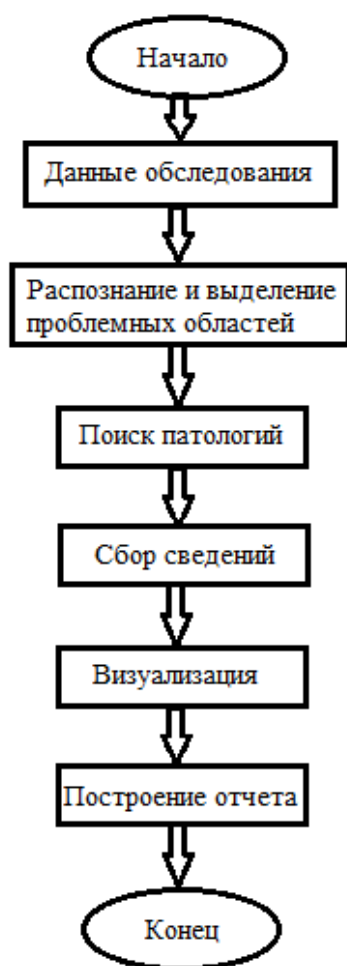


Рис. 2. Алгоритм работы разрабатываемого решения

Улучшить прототип путем совершенствования надежности используемого ПО, повышения качества анализируемого изображения, улучшение взаимодействия между подсказчиком и специалистом.

При анализе существующих систем было принято решение о добавлении в алгоритм работы модуля сбора сведений и оптимизацию модуля формирования отчетов, путем добавления в него функции просмотра объяснения принятого решения.

В ходе исследования проблемной области были найдены аналоги подсказчиков и выделен прототип. Анализ прототипа позволил выявить его недостатки, на основе чего были сделаны выводы о том, какая его часть подлежит улучшению. Так же были поставлены цели и задачи по улучшению интеллектуального подсказчика, которые включают в себя:

- развитие подсистемы диагностики, что позволит автоматически диагностировать конкретные заболевания в легких;

- развитие подсистемы визуализации полученных данных, это добавит системе наглядности и удобства в использовании, упростит взаимодействие с системой.